

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公開

⑪ 公開特許公報(A) 平3-28830

⑫ Int. Cl.⁵

識別記号

序内整理番号

⑬ 公開 平成3年(1991)2月7日

G 02 F 1/35

7348-2H

G 01 C 19/66

7414-2F

G 02 B 6/00

3 7 6 B

7036-2H※

審査請求 未請求 請求項の数 34 (全35頁)

⑭ 発明の名称 ファイバオプティックシステムおよび低い時間コヒーレンスを有する光を発生する方法

⑮ 特 願 平1-320351

⑯ 出 願 平1(1989)12月7日

優先権主張 ⑰ 1988年12月7日 ⑱ 米国(U.S.) ⑲ 281,088

⑳ 発 明 者 マイケル・ジェイ・エ アメリカ合衆国、カリフォルニア州、バロ・アルト ハー
フ・デゴネット バード・ストリート、2307

㉑ 出 願 人 ザ・ボード・オブ・ト アメリカ合衆国、カリフォルニア州、スタンフォード セ
ラスティーズ・オブ・ ラ・ストリート、857、セカンド・フロアー
ザ・レランド・スタン
フォード・ジュニア・
ユニバーシティ

㉒ 代 理 人 弁理士 深見 久郎 外2名
最終頁に続く

明 細 書

1. 発明の名称

ファイバオプティックシステムおよび低い時間
コヒーレンスを有する光を発生する方法

2. 特許請求の範囲

(1) ファイバオプティックシステムであっ
て、

波長の第1のスペクトルでのポンピング光を放
出するためのポンプ源(100)、レーザ材料で
ドーパされた光ファイバ(108)とを含み、波
長の前記第1のスペクトルでの前記ポンピング光
の強度は波長の第2のスペクトルでの前記レー
ザ材料内のレーザ光のスーパー蛍光放出を誘起す
るのに十分であり、前記レーザ光は第1および第2
の成分を含み、前記第1および第2の成分は前記
レーザ光が放出される位置において実質上逆方向
性であり、さらに、

周波数の前記第1のスペクトルでの前記ポン
プ源(100)からの放出された光を前記ドーパ
された光ファイバ(108)の一方端内へ向けるた

めの結合器(104)を含み、前記ポンピング光
の強度は前記レーザ材料内の周波数の前記第2の
スペクトルでのスーパー蛍光光の放出を誘起す
るのに十分であり、前記結合器(104)は周波数
の前記第2のスペクトルに対すると異なる周波
数の前記第1のスペクトルに対する結合効率を有
することを特徴とする、ファイバオプティックシ
ステム。

(2) 前記結合器(104)が波長の前記第
1のスペクトルでの前記ポンピング光の実質上十
分な結合を与え、かつ波長の前記第2のスペク
トルでの前記レーザ光の結合を実質上抑制する、請
求項1に記載のファイバオプティックシステム。

(3) 前記結合器(104)が波長の前記第
2のスペクトルでの前記レーザ光の実質上十分な
結合を与え、かつ波長の前記第1のスペクトルで
の前記ポンピング光の結合を実質上抑制する、請
求項1に記載のファイバオプティックシステム。

(4) 前記結合器(104)が波長の前記第
2のスペクトルでの前記レーザ光の実質上50%

の結合を与え、かつ波長の前記第1のスペクトルでの前記ポンピング光の結合を實質上抑制する、請求項1に記載のファイバオプティックシステム。

(5) 前記第1および第2の光成分のうちの少なくとも1つを反射するための反射器(118)をさらに含む、先行の請求項のいずれか1つに記載のファイバオプティックシステム。

(6) 前記結合器(104)が第3のポートを有し、前記反射器(118)が前記第3のポートにおいて前記結合器(104)に結合され、それゆえ前記結合器(104)の前記第3のポートから発出する光を前記結合器(104)の前記第3のポートに戻って反射する、請求項5に記載のファイバオプティックシステム。

(7) 前記反射器(118)が前記ドープされた光ファイバ(108)の第2の端部に結合され、前記レーザ光が前記ドープされたファイバ

(108)の前記第1の端部を介して前記ドープされたファイバ(108)を出る、請求項5に記載のファイバオプティックシステム。

テム。

(13) 波長の前記第2のスペクトルが1060nmでの波長を本質的に含む、先行の請求項のいずれか1つに記載のファイバオプティックシステム。

(14) 前記レーザ材料が希土類イオンを含む、かつ前記ドープされた光ファイバ(108)が、アルカリ、アルカリ土ケイ酸塩、ケイ酸塩、ゲルマニウム酸塩、リン酸塩又はホウ酸塩ガラスから本質的になる群から選ばれたホストガラスで作られる、先行の請求項のいずれか1つに記載のファイバオプティックシステム。

(15) 前記希土類材料がネオジウム、イットルビウムまたはエルビウムである、請求項14に記載のファイバオプティックシステム。

(16) 前記ドープされた光ファイバ(108)が前記結合器(104)の前記第2のポートとの結合のために光ファイバに溶融されるかまたは縫がれる、先行の請求項のいずれか1つに記載のファイバオプティックシステム。

(8) 前記レーザ光が前記結合器(104)の別のポートにおいて前記結合器(104)を介して前記ドープされたファイバ(108)を出る、請求項7に記載のファイバオプティックシステム。

(9) 前記結合器(104)が第3および第4のポートを有し、かつ前記反射器(118)が前記第3および第4のポートの間でループを形成する光ファイバを含む、請求項5に記載のファイバオプティックシステム。

(10) 前記ドープされた光ファイバ(108)が前記レーザ材料でドープされた単一モードファイバである、先行の請求項のいずれか1つに記載のファイバオプティックシステム。

(11) 前記結合器(104)内の光の前記結合がエバネセントフィールド結合に起因する、先行の請求項のいずれか1つに記載のファイバオプティックシステム。

(12) 波長の前記第1のスペクトルが806nmでの波長を本質的に含む、先行の請求項のいずれか1つに記載のファイバオプティックシ

ステム。

(17) 前記反射器(118)が減電体ミラーを含む、請求項5に記載のファイバオプティックシステム。

(18) 前記反射器(118)がメタリックミラーを含む、請求項5に記載のファイバオプティックシステム。

(19) 前記源(100)がレーザダイオードである、先行の請求項のいずれか1つに記載のファイバオプティックシステム。

(20) 前記源(100)が色素レーザである、先行の請求項のいずれか1つに記載のファイバオプティックシステム。

(21) 周波数の前記第2のスペクトルで放出される前記光が広い帯域幅を有する、先行の請求項のいずれか1つに記載のファイバオプティックシステム。

(22) 前記結合器(104)が並置された光ファイバの第1および第2の長さを含み、それが前記第1および第2の長さの間の光の結合を提供し、光ファイバの前記第1および第2の長さの

各々が第1の端部部分および第2の端部部分を有し、前記ポンプ源(100)が光ファイバの前記第1の長さの前記第1の端部部分に結合され、光ファイバの前記第1および第2の長さが光ファイバの単一の連続するストランドを形成し、前記光ファイバストランドがループ部分および2つの線部部分を形成し、それらがそれぞれ前記ポンプ源(100)および前記ドープされた光ファイバ(108)に接続される、請求項1に記載のファイバオプティックシステム。

(23) ファイバオプティックシステムであって、

周波数の第1のスペクトルでポンピング光を放出するためのポンプ源(100)と、

レーザ材料でドープされた光ファイバ(108)とを含み、前記ポンピング光の強度は、前記レーザ材料が前記ポンピング光でポンピングされるとき周波数の第2のスペクトルでの前記レーザ材料内のスーパー蛍光レーザ光の放出を誘起するのに十分であり、前記レーザ光が少なくとも第1およ

び第2の成分を有し、さらに、前記レーザ光の前記第1および第2の成分のうちの少なくとも1つを反射するための反射器(118)を含み、さらに、

前記光の前記第1および第2の成分のうちの少なくとも1つをフィルタ処理するためのフィルタ(804)を含み、前記フィルタ(804)が選択された低い温度依存性を有し、それゆえ前記フィルタ(804)によってフィルタ処理されるレーザ光がフィルタ処理されないレーザ光よりも低い温度依存性である、ファイバオプティックシステム。

(24) 前記反射器(118)が前記ポンプ源(100)と前記ドープされた光ファイバ(108)との間に置かれ、前記反射器(118)が周波数の前記第1のスペクトルでの前記ポンピング光を伝送しかつ周波数の前記第2のスペクトルでの前記レーザ光を反射する、請求項23に記載のファイバオプティックシステム。

(25) 前記ドープされた光ファイバ(10

8)が前記反射器(118)と前記フィルタ(804)との間に置かれる、請求項23に記載のファイバオプティックシステム。

(26) 前記フィルタ(804)が前記反射器(118)と前記ドープされた光ファイバ(108)との間に置かれる、請求項23に記載のファイバオプティックシステム。

(27) 前記ドープされたファイバ(108)内に共振空間を形成するための第2の反射器(118)をさらに含む、請求項23に記載のファイバオプティックシステム。

(28) 前記レーザ光が広い帯域幅を有する、請求項23に記載のファイバオプティックシステム。

(29) 前記レーザ光が狭い帯域幅を有する、請求項23に記載のファイバオプティックシステム。

(30) 低い時間コヒーレンスを有する光を発生する方法であって、

周波数の第1のスペクトルでのポンピング照射

の源(100)を設けるステップと、

前記ポンピング照射でレーザ材料でドープされた光ファイバ(108)をポンピングするステップとを含み、それゆえ周波数の第2のスペクトルでの前記レーザ材料内のスーパー蛍光光の放出が発生し、前記スーパー蛍光光が少なくとも2つの成分を有し、さらに、

光結合器(104)内で前記ポンピング光および前記スーパー蛍光光を多重化するステップを含み、それは前記光ドープされたファイバ(108)と前記源(100)とに接続され、さらにそれは周波数の前記第1のスペクトルおよび周波数の前記第2のスペクトルに対して異なる結合効率を有することを特徴とする、方法。

(31) 前記スーパー蛍光光の前記成分のうちの少なくとも1つを反射しさらに前記反射された成分を前記光ドープされたファイバ(108)内に向けるステップをさらに含む、請求項30に記載の低い時間コヒーレンスを有する光を発生する方法。

(32) 低い時間コヒーレンスおよび低い温度依存性を有する光を発生する方法であって、

周波数の第1のスペクトルでのポンピング照射の源(100)を設けるステップと、

周波数の第2のスペクトルでのレーザ材料内でのレーザ光の放出を発生するように前記レーザ材料でドーブされた光ファイバ(108)を前記ポンピング照射でポンピングするステップとを含み、前記レーザ光は少なくとも2つの成分を有し、さらに、

前記第1および第2の成分のうちの少なくとも1つを前記ドーブされた光ファイバ(108)内に戻って反射するステップと、

選択された温度依存性を有するファイバ(804)を用いて前記レーザ光の前記第1および第2の成分のうちの少なくとも1つをフィルタ処理するステップとを含み、それゆえフィルタ処理された成分がフィルタ処理されない光よりも低い温度依存性を有することを特徴とする、方法。

(33) 前記ポンピングステップが前記ドー

ブされたファイバ(108)内のスーパーバンド光を誘起するステップを含む、請求項32に記載の低い時間コヒーレンスを有する光を発生する方法。

(34) 前記フィルタ処理ステップが、

前記レーザ光の前記第1の温度ドリフトに実質上等しくかつ反対の方向のものである予め定められた第2の温度ドリフトを有する光結合器(104)を選択するステップと、

前記結合器(104)を用いて前記レーザ光の前記第1および第2の成分のうちの少なくとも1つを結合して第3の温度ドリフトを有する結合された成分を発生するステップとを含み、それによって前記結合された成分の前記第3の温度ドリフトが実質上キャンセルまたは最小化される、請求項32に記載の低い時間コヒーレンスを有する光を発生する方法。

3. 発明の詳細な説明

発明の分野

この発明は一般的にはファイバオプティック装置に関し、かつより特定のには、低時間コヒー

レンスを有する広帯域光信号を放出するためのスーパーバンド光ファイバレーザ源に関する。

発明の背景

光ジャイロスコープ、光プロセッサなどの低時間コヒーレンス光信号を用いる光学装置の出現は、比較的高い出力を有しかつ比較的非コヒーレントな光信号を放出する広帯域光源の必要性を作り出した。たとえばジャイロスコープにおいて、典型的には1kmまたはそれ以上の長さである、光ファイバがループに巻かれ、かつ光信号が両方の方向にループ内を循環させられる。ループの動きは、既知の「サニャック」効果に従う逆伝播する光信号の間の位相差を引き起こす。この位相差はそれからジャイロスコープの回転を測定するために用いられる。「サニャック」効果に従って、ループの回転は逆伝播する光信号のうちの1つの実効経路長を増加させる。それゆえ相対的な経路長差は2つの逆伝播する光信号のループを介する循環の後に出る光信号の結果となる。この経路差は位相差として検出器によって測定され、それはこうし

てジャイロスコープのシステムが受ける回転の角速度を示す。ループ内に導入される光信号が低時間コヒーレンスを有し、それゆえレイリー後方散乱からの干渉効果を避けることが望ましい。回転によって誘起される位相シフトは比較的小さいので、いかなる干渉効果でもが検出器によって測定された位相差を確かに実質的に変更するかもしれない、かつループの回転の実際の速度の間違った測定を提供する。理論上の予測と実際の結果との間の不調もまた、残りのファイバ波屈折と閉環のものなどの他の非同期的に誘起された位相差に帰された。低時間コヒーレンスを有する広帯域光源の使用がカー効果を誘うこともまた示された。この発見の開示はPCT特許出願調査番号第82/01542号において見い出され、それは1982年11月1日に出願されかつこの出願の譲受人に譲渡された。

レーザ源よりも低い時間コヒーレンスを有するがしかし通常の熱的非コヒーレントな光源よりも高い空間的コヒーレンスを有する広帯域非コヒー

レント光源がそれゆえ光をジャイロスコープなどの光学装置内に導入するために有利である。さらに、これらの光源が小さくかつコンパクトでかつ低いエネルギー消費を有することが好ましい。

発光ダイオード(LED)は光を光ファイバ内に送り出すために一般的に用いられてきた。LEDはそこを介して流れる電流の適用の下で光を放出する。光はホール・電子の結合によって引き起こされるエネルギーのフォトンから来る。ダイオードは外部源から順方向バイアスされる。光ファイバ内に光信号を送り出すために用いられるLEDの構造についての詳細は、ロバート・ジ・セイベル(Robert G. Seipert)による、バージニア、レストン、レストン・パブリッシング・カンパニー・インコーポレーテッド(Reston Publishing Company, Inc., Reston, Virginia)、「ファイバオプティクス」(Fiber Optics)、p p. 107-111に見い出される。LEDは、本質的に非コヒーレントでありかつそれゆえジャイロスコープにおける応用に適する光を放出する一方で、

LEDによって放出される光信号の出力は一般的に強度が不十分であり、かつ大変低い回転速度の検出を困難にする。さらに、LEDによって放出される光の波長のスペクトルは実質上温度依存性であり、それはジャイロスコープなどの多くの光ファイバ応用に対して所望でない効果である。最終的に、LEDの光ファイバジャイロスコープへの結合は典型的には不十分な質である。

超放射LEDもまた通常のLEDの低いエネルギー出力によって起こる問題を除去するために用いられてきた。超放射LEDは通常のLEDを超える進歩を表わすけれども、好ましくは単一モード光ファイバである、光ファイバ内に超放射LEDから結合される光信号は低い。さらに、超放射LEDの時間コヒーレンスは通常のLEDのように低くはない。さらに、超放射LEDによって放出される光は落域遷移の結果なので、それはより温度依存を受けやすく、かつそれゆえジャイロスコープおよび他の光学システムにおける使用のために必要とされる安定性に欠ける。

Ga(Al)Asダイオードレーザなどの半導体レーザダイオードは近赤外線領域において室温で連続的に動作し、光学システムにおける光源としての使用に対して大変適する高出力光を放出する。しかしながら、半導体レーザダイオードによって放出される光の時間コヒーレンスは典型的には大変高く、かつジャイロスコープなどの低時間光を必要とする光学システムにおいて不所望な効果を引き起こし得る。

ファイバオプティックジャイロスコープにおいてこれまで用いられた他の小変広帯域光源は、スーパーluminescentダイオード(SLD)である。しかしながら、SLDは一般的に波長安定性を満足せず、なぜならばそれらの放出波長は温度(300 ppm/°C)および光フィードバックに大変感応しやすいからである。加えて、それらは単一モードファイバ内への高い結合損失を受け、2、3 mWの使用可能なパワーのみを典型的には生じる。商業的に使用可能なスーパーluminescentダイオードもまた短寿命を示す。さらに、単一

モードファイバへの結合はスーパーluminescentダイオードの不十分な空間的コヒーレンスによって妨げられる。その結果として、上記で説明された非ファイバ光源はジャイロスコープおよび他の光学装置における使用のために最適な光源であるとは考えられず、なぜならばそれらはすべて温度感度および波長安定性に関する要件を満たさないからである。

代替の可能性は、十分高いレベルまで光学的にポンピングされて、同様にスーパーluminescenceと呼ばれる増幅された自然放出(Amplified Spontaneous Emission)(ASE)を介して新しいスーパーluminescence出力を発生する高利得ファイバの使用である。活性イオンでドーピングされた単一モードガラスファイバは、それらが提供し得る高い光利得によって論議されるようにスーパーluminescenceのための良い候補である。ファイバ形式内のNd:YAGなどの高利得材料はドーピングされたファイバ構成において特定の有利である。しかしながら、ドーピングされたガラスファイバはより広いスペクトル

端側で光を放出するという革新的な利点を提供する。ドーブされたファイバにおいて用いられるホスト材料の性質における最近の進歩は、高いポンピング光強度に耐える必要なくドーブされたファイバ内でスーパー発光が起こることを可能とした。ドーブされたファイバにおけるASEの理論的分析がマイケル・ディグネット(Michael Digannel)による記事において開示され、それは、ジャーナル・オブ・ライトウェーブ・テクノロジー

(Journal of Lightwave Technology), Vol. 4, No. 11, 1986年11月の「スーパー発光ファイバレーザの理論(Theory of Superfluorescent Fiber Lasers)」である。この記事はここに引用によって光を放出する援用される。ASEによって光を放出するドーブされたファイバを含む実験的装置がまた以下の2つの記事に開示され、それらは、「1060nmでのスーパー発光単一モードNd:ファイバ源(Superfluorescent Single Mode Nd:Fiber Source at 1060 nm)」、ケイ・リュウ(K. Liu)など、エレク

トロニクス・レター(Electronics Letter), Vol. 23, No. 24, 1987年11月、および「0.905, 1.06および1.3ミクロンでのネオジウムファイバレーザ(Neodymium Fiber Laser at 0.905, 1.06 and 1.3 microns)」, P.ロなど、オプティカル・ソサイエティ・オブ・アメリカ・アニュアル・ミーティング(Optical Society of America Annual Meeting)、シアトル(Seattle)、ワシントン(Washington)、1986年10月、である。これらの記事の両方がここに引用により援用される。

付加的に、スナイザー(Snitzer)などに対する米国特許第4,637,025号において光源が開示され、それは増幅された自然放出の物理的現象を用いる。この特許はここに援用により引用される。上記の特許において説明される光源は活性状態レーザ材料でドーブされたファイバに結合されるポンプ源を含む。ポンプによって光ファイバ内に放出された光はドーブされたファイバ内で増幅された自然放出を生じるのに十分な強度を有

する。結果としての放出はドーブされたファイバの一端側において出で、それはポンプ源に結合されない。前述の特許において開示される代替の実施例において、結果としてのASEレーザ放出の逆方向成分はポンピング源およびドーブされたファイバの端に配置づけられるダイクロイックミラー上に反射され、かつ順方向成分に結合される。

スナイザーによって開示される超放射光源はジャイロスコープにおいて今までに用いられた光源を超える改良であるが、この発明の光源によって除去されるいくつかの不利益を有する。スナイザーによって開示されるASEレーザ源において、結果としての光信号はそこからそれが放出されるASE源と同じ温度依存性を少なくとも有する。ASEレーザ源の温度依存性は或る応用に対して理想的に高いかもしれないので、スナイザーによって開示される結果としてのASEレーザ源の温度依存性は或る応用において受入れ可能ではないかもしれない。さらに、スナイザーの特許において開示された第1の実施例において、ポンプ源に

よって放出される光はドーブされたファイバ内に循環送り用される。順方向成分がドーブされたファイバを一度横切り、かつそれゆえファクター G によって増幅され、 G はドーブされたファイバの利得である。ASE光信号の逆方向成分がポンプ内へフィードバックされ、それによってポンプ空洞内の共振を誘起しかつポンプ源の出力を変更してもよい。スナイザーによって開示される第2の実施例において、ASE信号を反射するダイクロイックミラーが用いられる。ダイクロイックミラーなどの誘電体ミラーは典型的には互いの界面上に積み重ねられた多量の誘電体層で形成される。これらの誘電体層はそれらの層の表面上に射突する光の一部を必ず反射し、かつこうして順方向によって放出されるポンピング照射のいくらかをそこへ戻って反射し、それによってポンピング源の空洞内でのフィードバックを作る。この光フィードバックはポンプ源のパワーを減じ、かつまたスーパー発光出力パワーの変動を生ずる。さらに、ポンプ光信号が反射器を介して送り出され、それは

ポンプ源の結合効率を減じる。さらに、反射器は光のいくらかの部分が、それが特定の波長での光を反射するように設計されるときでさえ、伝送されることを必ず可能にする。ポンプ源とドーブされたファイバとの間のミラーの介在はポンプ源の空洞内への逆方向成分によって誘起されるフィードバックを減らすけれども、決してそのようなフィードバックを除去しない。

スナイザーの実施例において、ポンプ源とドーブされたファイバとの間の結合は他の不利を有し、それらはすべてこの出願において開示される装置においては避けられる。特定的には、スナイザーの装置におけるポンプ源はドーブされたファイバを結合し、それは緩い、パラボリックインデックス、自己位置決めファイバレンズまたは横のファイバレンズまたは単にドーブされたファイバのコア上の球形端部を用いる。レンズまたはミラーなどの光結合エレメントはあまり良い結合効率を有さない。それが可能なき場合はいつも、光ファイバのみを用いる結合方法が好ましかった。ポンピン

グ源に結合されるべき光ファイバのエンドターミナルは、特定的には、ポンピング源と光ファイバとの間の結合効率を実質上増す。しかしながら、これは、結合されるべき光エレメントが本質的に光ファイバであることを必然的に伴う。しかしながら、スナイザーの装置において用いられる結合光学系は光ファイバを用いない。スナイザーの装置は光ファイバの優れた結合特性を利用せず、かつそれらを利用することができるようにさえ設計されない。

こうして、低時間コヒーレンス、高強度、高空間的コヒーレンス、低温度依存性を有する光を放出し、かつファイバ光学系装置における使用に対して良好に適應された光源に対する必要性が存在する。

発明の要約

この発明に従って、第1の局面において、ファイバ光学系システムが開示され、それは、波長の第1のスペクトルでのポンピング光を放出するための源と、レーザ材料でドーブされた光フ

ァイバとを含み、波長の第1のスペクトルでのポンピング光の強度は波長の第2のスペクトルでのレーザ材料におけるレーザ光のスーパーラミナ放光を誘起するのに十分であり、レーザ光は第1および第2の成分を含み、第1および第2の成分はレーザ光が放出される位置において実質上逆方向性(contradirectional)であり、さらに、少なくとも第1のポートおよび第2のポートを有する光結合器を含み、第1のポートはポンプ源に結合されてポンプ源からのポンピング光を受取り、第2のポートはドーブされたファイバの第1の端部に結合され、それゆえ第1のポートから第2のポート内へ結合器によって結合されるポンピング光がドーブされたファイバ内へ送り出され、結合器は波長の第1および第2のスペクトルのうちの一方を選択的に結合し、かつ波長の第1および第2のスペクトルのうちの他方の結合を抑制し、さらに第1および第2の光成分の少なくとも1つを反射するための反射器を含む。

この発明の1つの好ましい実施例において、結

合器は好ましくは波長の第1のスペクトルでのポンピング光の実質上十分な結合を与え、さらに波長の第2のスペクトルにおいてレーザ光の結合を実質上抑制する。

この発明の別の好ましい実施例において、結合器は波長の第2のスペクトルでのレーザ光の実質上十分な結合を与え、かつ波長の第1のスペクトルでのポンピング光の結合を実質上抑制する。

結合器はまた波長の第2のスペクトルでのレーザ光の実質上50%の結合を与えてもよく、かつ波長の第1のスペクトルでのポンピング光の結合を実質上抑制する。

典型的には、結合器は第3のポートを有し、反射器は第3のポートにおいて結合器に結合され、それゆえ結合器の第3のポートから突出された光を結合器の第3のポートに戻って反射する。

反射器はドーブされたファイバの第2の端部に好ましくは結合され、レーザ光はドーブされたファイバの第1の端部を介してドーブされたファイバを出る。

そのような実施例において、レーザ光は典型的には結合器の別のポートにおいて結合器を介してドープされたファイバを出る。

この発明の別の好ましい実施例において、結合器は第3および第4のポートを有してもよく、かつ反射器は第3および第4のポートの間にループを形成する光ファイバを含んでもよい。

理想的には、ドープされたファイバはレーザ材料でドープされた単モードファイバである。結合器における光の結合は典型的にはエバネセントフィールド結合に起因する。波長の第1のスペクトルは806nmでの波長を本質的に含み、ところが波長の第2のスペクトルは1060nmでの波長を本質的に含む。レーザ材料は好ましくは希土類イオンを含み、しかしドープされた光ファイバは好ましくは、アルカリ、アルカリ土イオン酸塩(alkaline earth silicates)、ケイ酸塩、ゲルマニウム酸塩(germinates)、リン酸塩またはホウ酸塩ガラスから本質的になる群から選ばれたホストガラスで好ましくは作られる。希土類材料は

スペクトルに対する異なる結合効率を有する。好ましくは、周波数の第2のスペクトルでこのファイバオプティック光源によって放出される光は広い帯域幅を有する。

この発明はまた装置を説明し、それは、波長の第1のスペクトルを有するポンプ光の源と、レーザ材料でドープされた光ファイバを含み、光ファイバは波長の第1のスペクトルでのポンピングにตอบสนองして波長の第2のスペクトルでの光を放出し、さらに入力ポートおよび出力ポートを有する光結合器を含み、入力ポートはポンプ源に結合されてポンプ源からの光を受取り、出力ポートは光ファイバに結合されてレーザ材料をポンピングし、結合器は波長を区別でき、それゆえ波長の第1および第2のスペクトルのうちの一方を選択的に結合しかつ波長の第1および第2のスペクトルの他方の結合を抑制する。

この発明の別の局面に従えば、ファイバオプティックシステムが説明され、それは、周波数の第1のスペクトルでのポンピング光を放出するため

好ましくは、ネオジム、イットリウム、エルビウムである。

この発明の好ましい実施例において、ドープされたファイバは、結合器の第2のポートとの結合のために光ファイバに溶融されるかまたは縫がれるかのいずれかである。反射器は好ましくは誘電体ミラーであるが、しかしまたメタリックミラーを含んでもよい。源に関しては、それは好ましくはレーザダイオードまたは色素レーザである。

この発明に従えば、第2の局面において、ファイバオプティック光源が開示され、それは、周波数の第1のスペクトルでの光を吸収しかつ周波数の第2のスペクトルでの光を放出するレーザ材料でドープされた光ファイバと、周波数の第1のスペクトルでのポンプ源から放出された光をドープされたファイバの一端内に向けるための結合器とを含み、ポンピング光の強度はレーザ材料内での周波数の第2のスペクトルでの光の誘起された自然放出を誘起するために十分であり、結合器は周波数の第1のスペクトルおよび周波数の第2の

のポンプ源と、第1および第2の長さの間で光の結合を提供するように並列にされた光ファイバの第1および第2のストランドを含み、光ファイバの第1および第2の長さの各々はそれぞれ第1の端部部分および第2の端部部分を有し、ポンプ源は第1の光ファイバ長の第1の端部部分に結合され、かつレーザ材料でドープされた光ファイバを含み、ポンピング光の強度は、レーザ材料がポンピング光でポンピングされるとき周波数の第2のスペクトルでのレーザ材料内でのレーザ光のスーパー値光放出を誘起するのに十分であり、ドープされた光ファイバは光ファイバの第1および第2の長さのうちの1つに結合され、結合器は周波数の第1のスペクトルおよび周波数の第2のスペクトルに対する異なる結合効率を有する。エバネセントフィールド結合が好ましくは用いられる。

レーザ光は典型的には少なくとも第1および第2の成分を含み、第1および第2の成分はレーザ光が放出される位置において実質上逆方向である。反射器は好ましくは第1および第2のレーザ光成

分のうちの1つを反射するために用いられる。この反射器はドープされた光ファイバの一端へまたは光ファイバの第2の長さの第1の端部部分へ結合され得る。結合効率は好ましくは周波数の第1のスペクトルに対して実質上0であり、かつ周波数の第2のスペクトルに対して実質上1である。

この後者の実施例において、ドープされたファイバが第1の長さの第2の端部部分に結合される。典型的には、結合効率は周波数の第1のスペクトルに対して実質上1であり、かつ周波数の第2のスペクトルに対して実質上0である。それはまた周波数の第1のスペクトルに対して実質上0であってもよく、かつ周波数の第2のスペクトルに対して実質上0、1であってもよい。

いずれの場合においても、ドープされたファイバが好ましくは光ファイバの第2の長さの第2の端部部分に結合される。第1および第2の長さはまた光ファイバの単一の連続する長さを形成してもよく、ループ部分および2つの線部分を形成する光ファイバはそれぞれポンプ源およびドープさ

れた光ファイバに接続される。

この発明の別の局面に従って、ファイバオプティックスシステムが説明され、それは、周波数の第1のスペクトルでのポンピング光を放出するためのポンプ源と、レーザ材料でドープされた光ファイバとを含み、ポンピング光の強度は、レーザ材料がポンピング光でポンピングされるとき周波数の第2のスペクトルでレーザ材料内のレーザ光の放出を誘起するのに十分であり、レーザ光は少なくとも第1および第2の成分を有し、レーザ光の第1および第2の成分のうちの少なくとも1つをフィルタ処理するためのフィルタを含み、フィルタは選択された低温度依存性を有し、それゆえフィルタ処理手段によってフィルタ処理されるレーザ光はフィルタ処理されないレーザ光よりも本質的に小さな温度依存性であり、さらにレーザ光の第1および第2の成分のうちの少なくとも1つを反射するための反射器を含む。レーザ光は好ましくはスーパー蛍光によって誘起される。

この実施例において、反射器はポンプ源および

ドープされた光ファイバの間に置かれてもよく、反射器は選択的に周波数の第1のスペクトルでのポンピング光を伝達し、かつ周波数の第2のスペクトルでのレーザ光を反射し、ところがドープされた光ファイバは反射器とフィルタとの間に置かれてもよい。フィルタはまた反射器とドープされた光ファイバとの間に置かれてもよい。ファイバオプティックスシステムはまたドープされたファイバ内で共振空洞を形成するための第2の反射器を含んでもよい。レーザ光は広いまたは狭い帯域幅を有してもよい。

この発明はまた長時間コヒーレンスを有する光を発生する方法をも開示し、それは、周波数の第1のスペクトルでのポンピング照射の源を設け、周波数の第2のスペクトルでのレーザ材料内でのスーパー蛍光の放出を発生するようにレーザ材料でドープされた光ファイバをポンピング照射でポンピングするステップを含み、スーパー蛍光光は少なくとも2つの成分を有し、かつ先結合型内でポンピング光およびスーパー蛍光光を多重化し、

それは光ドープされたファイバおよび源に接続され、かつそれは周波数の第1のスペクトルおよび周波数の第2のスペクトルに対する異なる結合効率を有する。

この方法は好ましくはスーパー蛍光光の成分のうちの少なくとも1つを反射し、さらに反射された成分を光ドープされたファイバ内に向けるステップを含む。

この発明の別の局面に従えば、低時間コヒーレンスおよび低温度依存性を有する光を発生する方法が開示され、それは、周波数の第1のスペクトルでポンピング照射の源を設け、周波数の第2のスペクトルでレーザ材料のレーザ光の放出を発生するようにレーザ材料でドープされた光ファイバをポンピング照射でポンピングするステップを含み、レーザ光は少なくとも2つの成分を有し、選択された温度依存性を有するフィルタを用いてレーザ光の第1および第2の成分のうちの少なくとも1つをフィルタ処理するステップを含み、それゆえフィルタ処理された成分はフィルタ処理され

ない光よりもより低い温度依存性を有し、かつ第1および第2の成分のうちの少なくとも1つをドープされた光ファイバ内に従って反射する。ポンピングステップはドープされたファイバ内でスーパー蛍光を誘起するステップを含む。

この発明の別の側面に従えば、低時間コヒーレンスおよび低温度依存性を有する光を発生する方法が開示され、それは、周波数の第1のスペクトルでのポンピング照射の源を設け、周波数の第2のスペクトルでのレーザ材料内でのレーザ光の放出を発生するようにレーザ材料でドープされた光ファイバをポンピング照射でポンピングし、レーザ光は少なくとも2つの成分および第1の温度ドリフトを有し、レーザ光の第1の温度ドリフトに対して実質上等しくかつそれに対して反対方向のものである予め定められた第2の温度ドリフトを有する光結合器を選択するステップを含む、かつ結合器を用いて光の第1および第2の成分の少なくとも1つを結合し、それゆえ第3の温度ドリフトを有する結合された成分を発生し、それによ

って結合された成分の第3の温度ドリフトが実質上キャンセルまたは最小化される。

この発明はまた装置を開示し、それは、ファイバオプティック結合器を含み、それは、並置されてファイバの間で周波数の第1のスペクトルにおいて光の結合を提供しかつファイバ間の周波数の第2のスペクトルでの光の結合を禁じるための1対の光ファイバを含み、さらに、1対のファイバの一方の第1の端部に結合されたポンピング照射の源を含み、ポンピング照射は周波数の第1のスペクトルを有し、さらにファイバの他方の第1の端部に結合される増幅されるべき信号の源を含み、増幅されるべき信号は周波数の第2のスペクトルを有し、かつ光ファイバはレーザ材料を含み、材料の増幅されるべき信号の周波数の第2のスペクトルのうちの一方でのレーザ遷移を有するレーザ材料がポンピング照射でポンピングされ、光ドープされたファイバが一方端において1対のファイバの一方の第2の端部に結合される。

本発明のこれらおよびその他の利点は次の説明

および図面の参照によって最もよく理解される。

好ましい実施例の詳細な説明

本発明の好ましい実施例は「スーパー蛍光」または「増幅された自然放出」として呼ばれる物理的現象に基づいている。この現象は本発明の好ましい実施例において重要な役割を果たし、スーパー蛍光に対する説明が以下に提示される。

スーパー蛍光：理論的背景

スーパー蛍光はレーザ空洞で起こる信号増幅に干渉する寄生影響としてレーザ実験者および設計者によって一般に考えられていた。特に、スーパー蛍光は以下で説明されるように、多数の大型高利得レーザシステムにおいてかなり望ましくない役割を果たした。

光源はレーザ材料の吸収スペクトルに対応する波長で光を放出するように、ポンピング光源およびレーザ材料を置かれた空洞に置くことは周知である。レーザ材料のイオン、分子または原子は次に上側レーザレベルの上のエネルギーレベルに励起される。励起の後、フォノン放射によ

るレーザ材料の分子、イオンまたは原子の最初の緩和は上側レーザレベルでイオン、分子または原子の群集を生ずる。このレベルから、イオン、分子または原子は下側レーザレベルに緩和し、レーザ材料の特性である波長で光を放出する。迅速なフォノン放出緩和が下側レーザレベルおよび接地レベルの間において、高い反転率がポンピングされたイオン、分子または原子内の上側および下側レーザレベルの間に存在するように、下側レーザレベルが接地レベルの上にあるのが好ましい。

このように励起された群集内で、レーザ腔面において周知であるように、レーザ材料は非逆に強い蛍光を与える、すなわち非コヒーレント光の任意の放出である。Nd:YAG結晶の場合、ネオジウムイオンの平均寿命は励起された状態で230マイクロ秒である。したがって反転分布によって表わされるエネルギーは広帯域放射として放出することができ、かなり強いことがある。この現象は一般に増幅された自然放出(ASE)また

はスーパー蛍光として一般に知られている。これらの言葉の使用に関して純粋主義者の間で意見の相違があるにもかかわらず、ASEおよびスーパー蛍光は以降では交換可能的に使用される。光学増幅器では、ASEは利得の量を制限し、望ましくない影響である。従来の増幅器システムでは、レーザ材料のいずれかの点から発するASEはレーザパルス自身の完全性を損うことができ、実質的にレーザ増幅媒体からストアされたエネルギーを放出させる。ASEは個別の増幅器ユニットにおける再生モード発生によって、また光学システム内の特定の光学エレメントとの組み合わせによって、増幅器システムにストアされている有効エネルギーを減じる。理論的計算は、もし特定の条件が満たれると、ASEはポンピングソースが作成するのと同じ速さで変換からエネルギーを抽出する。増幅された自然放出は高利得レーザシステムにおいて重大な問題として考えられ、レーザシステムの光学コンポーネントの損害をおそらくもたらす。ASEによって起こされる問題およびこの現象を

説明する技術的詳細は次の参考文献で見られる：「レーザエレクトロニクス」(Laser Electronics)、ジョン・T・ヴェルディエン(John T. Verdeyen)、プレントイス・ホール(Prentice-Hall)ページ179-183および「レーザズ」(Lasers) シーグマン(Siegman)ユニバーシティ・サイエンス・ブックス(University Science Books)ページ555-556。

第1a図はNd:YAGクリスタルに対する自然および刺激放出にかかわる異なるエネルギーレベルを示す。クリスタルの吸収波長でポンプ光がNd:YAGクリスタルによって吸収されると、ネオジムイオンが接地状態からポンプ帯域に励起されるのは理解される。ポンプ帯域から、イオンはフォノン相互作用によって、上側レーザングレベルに素早く緩和する。この上側レーザングレベルから、ネオジムイオンは比較的遅い蛍光を経て下側レーザングレベルに入る。この後者のレベルから、最終的に迅速フォノン緩和が接地状態まで起こ

る。第1a図で示されるタイプの全レベルレーザシステムでのこの後者の迅速緩和は、下側レーザングレベルから接地状態の間の迅速フォノン緩和が実質的に空の下側レーザングレベルを与えるので、より有利的である。この特徴は第1b図で示され、ポンプ帯域、上側レーザングレベル、下側レーザングレベルおよび接地状態での母集団濃度が連続ポンピングの間にNd:YAGクリスタルに対して示される。上側レーザングレベルおよび下側レーザングレベルの間の蛍光の比は、ポンプ帯域および上側レーザングレベルの間のフォノン緩和と比較して、また下側レーザングレベルおよび接地状態の間と比較して相対的に遅いので、上側レーザングレベルでの母集団濃度は下側レーザングレベルのものよりも実質的に高く、高い反転比を生じる。上側レーザングレベルにおけるネオジムイオンの平均寿命は、自然蛍光の前は、Nd:YAGにおいて300°Kで約230ピコ秒である。ポンピング光がスーパー蛍光放出を起こすには、ポンピング光の強度は反転分布が起こるよう

に十分高くなければならず、刺激放出を伴う増幅された自然放出をもたらす状態を与える。

300°KでのNd:YAGクリスタルの吸収スペクトルの図である第2図を参照すると、Nd:YAG材料は選択された波長で、比較的高い光学濃度を有するのがわかり、したがって短い吸収長を有する。このため、吸収長をできるだけ短くするようにポンピング照射ソースの波長を選択するのが得策である。これはNd:YAGクリスタルの非常に短い長においてポンピング照射の実質的に完全な吸収を可能にする。第2図からポンピング照射に対して、波長9.8ミクロンが最適であるように見えるが、Nd:YAGクリスタルをレーザ媒体として使用する本発明の実施例において0.81ミクロンの波長が好ましくは選択される。

スーパー蛍光ソースは多くの光学応用において、特にファイバジャイロスコープおよび信号処理ファイバシステムにおいて、低い時間コヒーレンス源の候補として最近考えられている。スーパー蛍

光源はポンピングソースによって増幅ポンピングされたレージングシリンダを典型的に含む。周知の結合方法によってレージングシリンダに送られるポンプ照射は、A S E をもたらす状態を与えるほど十分に強い。結果の出力レーザビームは、ビームがシリンダを横切ってビームを最初に放出した原子のグループによる増幅を経た後で、レージングシリンダの一方端部から放出される。出力ビームは肉のコヒーレントレーザ信号および完全な非コヒーレント熱ソース信号の間の中間の特性を有する。符に、出力ビームは低い時間コヒーレンスを有するが、かなりの量の空間コヒーレンスを有する。上記で述べたように、A S E は反転されたレーザ原子の分散から来る自然放出が同じ原子のグループによって線形的に増幅される光放出の現象としてレーザ理論者によって特徴づけられる。利得は少なくとも1つの方向で原子を通して実在すべきである。レーザ媒体が十分大きければ（反転された原子の長い薄いシリンダ）、これらの原子によって放光および増幅された信号は高い

強度、適度に方向性のあるおよび非常に低い時間コヒーレンスであることができる出力ビームを生ずることができる。出力放射が十分強くなると、反転エネルギーの主要部分が方向性の出力ビームに抽出されるように、利得媒体に沿った甚しい飽和を達成することができる。A S E の完全な説明はシーグマン、ユニバーシティサイエンスブックスの「レーザーズ」、ページ547-555にある。

スーパー整光は、特定の利得増幅器における複製効果にもかかわらず、より特定の光学ファイバに関連して、いくつかの利点を与える。これらの利点は、本発明の好ましい実施例の詳細な説明から示されるように、可能性の新しい領域を開く。

第1の実施例の説明

本発明の第1の好ましい実施例を示す第3図に参照がなされる。

ポンピング照射のソース100は多重化結合器104のファイバ102に結合されて、多重化結合器104のポートAでポンピング照射を与える。

結合器104は光学ファイバの2つのストランド、最上位ファイバ102および最下位ファイバ106を好ましくは備える。ソース100からのポンピング照射は、以下でより詳細に説明されるように、結合器104の結合動作によってポートBに伝送される。結合器104はソース100の波長において0%の結合効率を有するように実際に調整される。好ましくはNd:シリカドーブされたファイバであるドーブされたファイバ108は、概またはその他のファイバ接合手段110（たとえば実接合または溶融接合）によって結合器104のポートBに結合される。照射信号はドーブされたファイバ108内において増幅された自然放出を生ずるように十分強く、第3図の矢印によって示されるように順方向信号114および逆方向信号112を引き起こす。Nd:シリカドーブされたファイバの場合に放出された信号は1060nmに集中する波長の範囲にあり、半値全幅（FWHM）は一般に約17nmである。順方向信号114はドーブされたファイバ108の1つ

の長を通った後、端部120でトープされたファイバ108を出る。逆方向信号112はポートBで結合器104に送り出され、結合器104の結合動作によってポートCに伝送される。多重化結合器104は、1060nmでレージング光の完全な結合を設けるために、かつ800nmまたはポンピング照射に適する別の波長におけるポンピング光の波長で本質的にいかなる結合も与えないように、この発明で使用するために効率的に製造されている。ミラーまたは反射器118は、結合器104の最下位ファイバ106の端部に好ましくは組み立てられて接続される。ミラー118は出力信号の波長で完全なまたは準完全な反射を与えるように設計される。ミラー118は好ましくは誘電体材料の多重層で形成される誘電体ミラーである。ミラー118はファイバ106の一方端部にゴールド・デポジションされる、または当該技術の周知の技術に従ってそこに接着される。さらに、ミラー118は逆方向信号112の反射がその波長を要しないものが選択される。逆方向信号1

12はこうしてポートCに反射され、結合器104の同じ結合動作によって結合器104のポートBに再注入される。逆方向信号112はドープされたファイバ108の全体の長さを進んで、その端部120から出る。もしGがドープされたファイバ108の進行の間に信号によって増幅された利得であるなら、順方向信号114はドープされたファイバ108から出るときに係数 $e^{\alpha L}$ によっておおよそ増幅され、逆方向信号112は2つの方向でドープされたファイバ108を進むと係数 $e^{2\alpha L}$ によって増幅されるのは明らかである。利得Gが高ければ、出力信号は主に逆方向信号112から主なることは明らかである。このような度り合わせは合計出力信号の強度を増大させるために非常に有利である。

反射はドープされたファイバ108の一方端部のみに起こるのは注意すべきことであり、共振レーザ発振を防ぎ、広帯域増幅された自然放出のための条件を保つ。

したがって本発明の光学システムは、ポンプソ

されたファイバの吸収スペクトルにおけるピークと対応すると、高められる。エレクトロルミネセンスダイオードは、800nm範囲において光を放出するための適当なドープで商業的に入手可能である。このようなダイオードのスペクトルは室温でNd:シリカ材料の吸収スペクトルとよく整合する。たとえば商業的に入手可能なGa(A1)AsLEDは800nm領域において強い放射スペクトルを与える。類似して、レーザダイオード構造は商業的に入手可能であり、850nm範囲でエネルギーを放出する。さらに、ポンプ波長は全体のポンピング効率を最大化するために、Nd:シリカ材料の分光学によって可能なだけ信号波長に近くあるべきである。本発明の好ましい実施例は800-830nmの範囲で放出するように、商業で簡単に利用可能なcwシリカレーザ色素ポンプソースを使用する。光学ファイバに結合されるこのようなレーザソースはソースによって放出される光の波長で80%の位相を占すことができる。典型的に、このようなレーザポンプ

ソースのドープされたファイバへの波長依存結合によってスーパー輻光信号を発生するための便利な手段を提供し、結合器に結合されるファイバの一方端部に置かれるミラーによって逆方向レーザ信号の損失を防ぐ。10-15mWのオーダーの典型的な出力は、CWシリカレーザで810nm近くでポンピングされる単一モードNd:SiO₂において約17nm(FWHM)の線幅で得られる。出力のほとんどは1060nm放出からなる。

第3図を再び参照すると、本発明の第1の実施例で使用される種々の光学コンポーネントは以下でより詳細に説明される。

ポンプソース100はファイバにおいてしたがってドープされたファイバにおいてポンプパワーの高い濃度を可能にするレーザダイオードであってもよい。使用されるポンピングソースのタイプにかかわらず、このシステムの有効性はソースからの放射の波長が、たとえば第2図で示されるNd:シリカドープされたファイバのようなドープ

ソースのFWHMは約30nmである。

当業者にとって、ポンプソース光の波長はレージング材料の吸収スペクトルにおけるピークに好ましく対応するのは明らかである。Ndの場合、このピークは804nmで選択される。しかし実際の考慮では、820nmのような近傍波長が受容可能である。シリカがドープされたファイバのホスト材料として使われると、Nd:SiO₂(900、1060nm)の2つの放出ラインのうち、ミラーによって反射される1060nmラインのみが大きい正味利得を有するのが観測される。900nmラインは単にファイバにおいて自己吸収される。他のより弱い放出ラインも存在するかもしれないが、商業的シリコン検出器によって検出されるのには測すざる。

本発明の装置に使われるドープされたファイバ108は簡単に商業的に入手可能である。高純度レーザ材料でドープされたホストガラスから好ましくは製造されるコア、およびコアを取り囲むクラディングを含む。

その好ましい実施例では、ドーブされたファイバ108は活性レーザ材料でドーブされたホストガラスから製造されたコアおよびそのコアを包囲するクラディングを含む。代替的に、クラディングは単一モード光伝送が活性材料に重畳するように、コアに隣接した薄い層において実際のレーザ材料を含むことができる。好ましい活性材料はネオジムであるが、イッテルビウムおよびエルビウムを含む他の希土類材料も同様に適切である。ホストガラスのドーバントの濃度は、ポンプ光を吸収するためにまた特定の応用に必要の適度の長さからの光損失を避けるために便宜上長さにおいて決定される下限から、濃度クエンチングによって決定される上限に多様化することができる。一般に、0.1および30%（重きによる）の間の濃度範囲が適切である。好ましいホストガラスはアルカリ、アルカリ土ケイ酸塩を含むが、他のケイ酸塩、ゲルマニウム酸塩、リン酸塩およびいくつかのホウ酸塩ガラスも同様に適切である。コアの屈折率はクラディングよりも高いものが選択

されて、コアに入るポンピング光および活性材料によって放出された光はコアの中または付近に含まれるようにする。コアの直径“D”は特定の応用によって、幾分好ましく決定される、すなわち、光源100の光出力が導入される光学ファイバの直径である。一般に、コアの直径は好ましくはポンプ光が特定の応用のために有効に結合されることができるのに必要な最小のものであり、特定のポンピング光エネルギーレベルのユニットエリアあたりの放出される放射エネルギーを最大化する。こうして、光源100が単一モード光学ファイバまたは装置に光を与えるところでは、コアの直径は放出波長で単一モード光伝送を与えるように選択される。単一モード伝送では、コアの直径はコアおよびクラディングの屈折率に依存し、1-20ミクロンまたは50ミクロンまでの直径は、近赤外または可視スペクトルの可視領域の波長に対する単一モード伝送を与えることがある。望むのなら、コアの直径は特定の応用に對する最小のものよりも大きいことがある。たとえば、光源100

が4ミクロンのコア直径を有する単一モードドーブされたファイバに結合されるべきところでは、コアは結合を容易にするために、幾分より大きい直径、たとえば6ミクロンを有することができる。一般に、コアの円形断面に対して、コアサイズは $(\pi d/\mu)NA$ を2.4以下にすることによって決定され、ここでdはコア直径、 λ は放出光の波長であり、NAはコアおよびクラディングの屈折率 n_1 および n_2 に関する開口数であり、NAは $(n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$ に等しい。

本発明の好ましい実施例では、シリカまたはYAGはホスト材料として使用され、ネオジムまたはエルビウムがレーザ材料を構成する。好ましくはNd:シリカドーブされたファイバであるドーブされたファイバ108の直径は、先行技術の光学システムで使用されるNd:シリカロッドの直径と比較して非常に小さいかもしれない。たとえば、ファイバが100ミクロンの直径を有する光学システムが構成された。より小さい直径も可能であり、単一モードファイバの直径をアプロ

ーチする。単一結晶ファイバレーザにおけるファイバおよびクリスタルの間の結合は、クリスタルの直径が減じられ、倍率利得が増大されると高くなるが、これはクリスタル直径が減じられるとクリスタル内のソースからのポンピング照射の濃度が増大するからである。

ドーブされたファイバの利点は無数にあり、その高い利得、優れた変換効率およびインターフェイス可能性を単一モードシリカファイバ、低い伝搬損失およびコンパクト性に含める。ドーブされたファイバの特徴のより完全な考察は1969年7月15日にケスター (Kester) に発行された米国特許第3,456,211号にある。この参照はここに引用により盛用される。

本発明の好ましい実施例で使用される多重化結合器は第2の光学周波数を結合せずに第1の光学周波数を選択的に結合する。本発明の好ましい実施例では、磨かれたファイバ結合器が使用される。熔融双円錐テーパー結合器または結合された光学結合器のような他のファイバマルチプレクサも適切

である。このような選択的結合に必要な磨かれたファイバ結合器および同じものを構成するための方法は、1985年12月3日に公開された米国特許第4,556,279号において開示され、ハーバート J. ショー (Herbert J. Shaw) およびマイケル J. F. ディゴネットを発明者としてリストし、本発明の譲受人に譲渡された。その特許はここに引用により引用される。

光学結合器の背景情報は、本発明の譲受人に譲渡された米国特許第4,515,431号および第4,674,830号にある。両特許はここに引用により引用される。

磨かれたクラディング多重化結合器およびその製造方法の主要特徴は前述の特許で見つけることができ、以下の態様にまとめることができる。

参照は第4図になされ、これは磨かれたクラディングマルチプレクサを示す。2つのカプラ半分210aおよび210bからなる結合器210は、好ましくは単一モードファイバのファイバオプティック材料の2つのストランド212aおよび

2aおよび212bが溝213aおよび213bにそれぞれ装着されると、中央に向かって次第に集束し、およびブロック216a、216bの端縁に向かって進めるのを可能にし、モード振動によってパワーの損失を引き起こさかもしれないファイバ212の方向における鋭い曲がりまたは突然の変化をなくす。

ファイバオプティック材料はたとえば磨くことによって各々のストランド212aおよび212bから取除かれて、それぞれに対向表面214a、214bと共通であるそれぞれのオーバル形面状表面218a、218bを形成する。こうして、取除かれたファイバオプティック材料の量は0のブロック216の端縁から最大のブロック216の中央に増加する。このファイバオプティック材料の除去された除去はファイバコアが徐々に集束および進めるのを可能にし、これは逆方向反射および光エネルギーの過度な損失を避けるために有利である。

示された実施例では、カプラ半分210aおよ

び212bを含み、それぞれ長方形のベースまたはブロック216aおよび216bのそれぞれの光学的に平坦な対向表面214aおよび214bでそれぞれ形成される縦の銀状溝213aおよび213bに装着される。

ストランド212a、212bの各々は中央コアおよび外側クラディングを有するためにドーブされている光学ファイバを含む。ストランドは典型的に5ミクロンのオーグのコア直径を有し、クラディング直径は12.5ミクロンのオーグにある。

端縁の溝213aおよび213bはファイバ212の直径と比較して非常に大きい曲率半径を有し、そこに装着されたときにファイバ212よりわずかに大きい幅を有して、溝213の底面壁面によって規定される経路に従う。溝213aおよび213bの深さはそれぞれブロック216aおよび216bの中央の最小からブロック216aおよび216bの端縁の最大に変化する。これは有利的に、ファイバオプティックストランド21

び210bは同一であり、ブロック216aおよび216bの対向表面214aおよび214bを置くことによって相立てられ、ストランド212aおよび212bの対向表面214aおよび214bは面する関係にある。

屈折率整合オイルのような屈折率整合物質（示されていない）は薄いフィルムの形で対向表面214の間に設けられる。

ストランド212の接合に相互作用領域232が形成され、光はエバネセントフィールド結合によってストランドの間に伝送される。適切なエバネセントフィールド結合を確実にするため、ファイバ212から取除かれた材料の量はストランド212のコア部分の間のスペーシングが予め定められた「境界領域」内にあるように注意深く制御されなければならないことがわかっている。エバネセントフィールドはクラディングに延在してそれぞれのコアの外の距離で迅速に減少する。ブロックまたはベース216は適切な剛性の材料で製造されることができ。

状態で、ポートDのパワーとポートCのパワーと
(以下省略)

テストはエバネセント波の励められた結合器が100%までの結合効率を有することを示す。しかし、これらの結合器はほぼ最大値の望ましい値に結合効率を調整するように「調整」されることができるのも説明されている。このような調整は、たとえばファイバをその長さに対して直角をなす方向に相対的に横に動かすことによって達成することができる。ファイバの相対的位置はそのオフセットによって規定することができる、すなわち対向表面に沿って、その長さに対して直角をなす方向で測られたファイバコアの中央軸の間の距離である。こうして再び第4図を参照すると、オーバーラップ面218が直交されると、オフセットは0であり、オフセットはファイバ216がブロック216を相対的に動かすことによって横方向に分離されると増加する。

第4図に示された結合器210は非常に方向性があり、この結合器の一方側に与えられたパワーのすべてが実質的に他方の側に伝えられる。この結合器の方向性は、入力ポートAに与えられた

の比として規定される。さらに、この結合器の方向性は、伝搬の所与のモードのために対称的である。すなわち、この結合器は、そのどちらの側が入力側であるか、かつ他方側であるかにかかわらず、同様の特徴で動作する。さらに、結合器210は、非常に低いスループット損失でこれらの結果を達成する。

結合器210は、ストランド212の案内モードはエバネセントフィールドを介して、光がストランド212間で転送されるように相互作用する、エバネセントフィールド結合原理で動作する。先に示されたように、この光の転送は相互作用領域232で生じる。転送された光の量は、相互作用領域232の実効長だけでなく、コアの近接および配向に依存する。下記により詳しく述べられるように、転送された光の量は光の波長にもまた依存する。次いで、相互作用領域232の実効長は実質的にコアのスペーシングとは無関係であると理解されているが、相互作用領域232の長さはファイバ232の曲率半径に依存する。しかしな

がら、「結合長」、すなわち、一方のファイバ212aから他方のファイバ212bへの光信号の単一のかつ完全な転送に必要とされる初互作用領域232内の長さは、波長だけでなくコアのスペーシングの関数である。しかし、もし初互作用領域232の長さが増加され、またはコアのスペーシングが減少されるならば、結合長は実効相互作用長よりも短いため、「オーバーカプラリング (overcoupling)」とここで述べられる現象が生じるであろう。このような状況のもとで、光は、最初のストランドへと転送し戻されるであろう。相互作用長がさらに増加されかつ/またはコアのスペーシングがさらに減少されると、実効相互作用長は結合長に関連して増加し、かつ光の少なくともいくらかは他方のストランドへと転送し戻される。こうして、光は、領域232を介して進むとき、2つのストランド212の間で多回数、転送してもよく、このような転送の回数は、相互作用領域232の長さと、光波長(下記に述べられる)とコアのスペーシングとに依存する。

ファイバ結合器の結合長は、典型的に上述の単一モードファイバであり、上述に組み入れられた前述の特許で詳しく述べられたように、信号波長への強い依存性を示すので、適切に選ばれたジオメトリのパラメータで、結合器210は、第2の信号波長が本質的に結合されないままである一方、1つの信号波長を完全に結合することができる。この現象により、結合器210の2つの側にあるポートへ供給された2つの信号が分離することができる。こうして、第4図に示されるように、波長 λ_1 を有するポンピング信号が結合器210のポートAに供給され、かつ波長 λ_2 を有するスーパー励光信号がポートBに結合され、かつそのジオメトリが適切に選択されるならば、ポンピング信号がポートAからポートBへの結合を阻害されることがない一方で、スーパー励光信号はポートBからポートCへと完全に結合されるように、両方の信号が分離され得る。

この波長依存性を説明するために、第5図は、特定の結合器ジオメトリのための可視および近視

の赤外線スペクトルにおいて、結合されたパワー対信号波長のプロットを提供する。この結合器構成のため、結合器の実効相互作用長は、選択された波長720nmに対して結合長の奇数倍であるが、しかし選択された波長550nmに対して結合長の偶数倍であるため、波長720nmは100%結合され、波長550nmは実効的に結合されないであろう。異なる効率で、異なる波長が組合わされてもよいし、または分離されてもよい。たとえば、590nmおよび650nmは80%の効率で分離されてもよく、または組合わされてもよい。

実効相互作用長が一方の波長に対して結合長の偶数倍であり、かつ他方の波長に対して結合長の奇数倍である限り、実質的にいかなる波長対(λ_1, λ_2)も効率的に組合わされてもよく、または分離されてもよい。実効相互作用長内の結合長の数が増加するにつれて、マルチプレクサの分解能が、ファイバ212a、212bの曲率半径を増加させることによって向上される。結合器の相

相互作用長が十分に大きいならば、それらの波長がどのくらい密接に間隔づけられているかどうかには無関係に、実質的にいかなる2つの信号も正確に混合されてもよく、または分離されてもよい。

Rがストランド212の曲率半径である場合、相互作用長は波長の関数であり、かつ分解能は $(R)^{-1/2}$ とほぼ比例している。Rが増加すると、実効相互作用長が増加し、かつ結合長のさらに高い倍数になり、分解能を改善する。この結果は第6図に示されており、それは、曲率半径が200センチメートルにまで増加されたことを除けば、第5図のグラフと比較し得る。予想されたように、この半径の増加は、結合器の分解能を、第5図の25センチメートル半径の例における、およそ170nmから、200センチメートルの場合における、およそ60nmへと $\lambda = 600\text{nm}$ 近くまで改善する。

多重化結合器の分解能は、2つの別個のパラメータ、すなわち、H(ファイバスペーシング)およびR(ファイバの曲率半径)に依存する。所与

の1対の信号波長のため、まず、興味ある波長に対する大きな波長依存性をもたらす結合器に対しファイバスペーシングHを適切に選択し(Hの選択)、次いで、波長間の然と等しい分解能を生じる曲率半径を選択する(Rの選択)ことによって、効率的な混合が達成され得るであろう。

分離されるべき波長に従って結合器の分解能が設定された後、実効相互作用長が一方の波長の結合長の偶数倍であり、かつ他方の波長の結合長の奇数倍であるように、結合器は、興味ある波長に対する結合長を正確に調整するように調整されてもよい。これは、ファイバ212a、212bの軸と垂直な方向に、互いにブロック216a、216b(第4図)を移動させることによってファイバをオフセットすることにより達成される。このようなオフセットは、最小ファイバスペーシングHを増加させ、かつファイバの実効曲率半径を増加させる効果を有する。もし所望のオフセットが十分に小さいならば、それはマルチプレクサの分解能を損うであろう。これは、大半径の結合器

の分離度 H が、ファイバオフセットによる実効曲率半径の変化と比較して、ファイバオフセットにより迅速に変化するという事実に由来する。

この多重化結合器の調製可能性を示すため、第7図は、ファイバオフセットの3つの増加値(0ミクロン、0.5ミクロンおよび1.0ミクロン)に対して、相対結合パワー対波長のプロットを提供する。その曲線は、発振(または分解能)の明暗が実質的に変わらないままである一方、オフセットが増加するにつれて波長を増加させる方向に移動するように見られる。この特定の例($R=200\text{ cm}$, $H=4\text{ ミクロン}$)の場合、1ミクロンオフセットはおおよそ4.5 nmだけその曲線を移動させる。

820 nmで放出するレーザー源および1060 nmで放出する、スーパー蛍光のドープされたファイバを適用するこの発明の好ましい実施例では、0.8ミクロンと1.6ミクロン間の波長に対して大きな波長依存を生じるようにファイバスペーシング H を適切に選択し、かつ次いで1.06ミ

クロンと0.8ミクロンまたは0.26ミクロンとの間の数に等しい分解能を生じるファイバのための曲率半径を選択することによって、選択結合が上述の技術に従って達成される。結合器の分解能がこのような態様で設定された後、前述のように、結合器は、実効相互作用長がこの波長の1つに対して結合長の偶数倍であり、かつ残余の波長に対して結合長の奇数倍であるように、結合長を0.8ミクロンおよび1.06ミクロンの波長に調整するように調整されてもよい。

第3図に示された実施例において、ドープされたファイバの出力をファイバ106に結合することが望まれるので、結合器のための実効相互作用長は、ドープされたファイバの波長の結合長の奇数倍、1.06ミクロンになるように、かつソース光周波数の偶数倍、0.8ミクロンになるように調整されなければならない。これにより、ファイバ102からファイバ106へと伝送されるべきソース照射信号の本質的な結合がない状態で、ドープされたファイバから来るレーザー光の、ファ

イバ102からファイバ106への完全な結合を生じるであろう。もちろん、この場合の結合のない状態は、偶数倍の完全結合を意味し、そのため、たとえば、相互作用領域232における実効相互作用長が1.06ミクロンの結合長の2倍であるならば、レーザー出力は完全に2回、すなわち1回はファイバ102からファイバ106へと、次いで2回目はファイバ106からファイバ102へと結合されるであろうということが理解されるであろう。この発明を具体化する上で調節可能な結合器が実験的に用いられたが、しかし、他の結合器が使用され得ることが当業者に明らかであろう。1つの調節可能な結合器の2つのブロックの界面で使用された屈折率結合オイルは熱膨張しやすいが、調節可能な結合器は容易に「同調される」ことができるという限りにおいて有利である。多くの応用では、簡便結合器が温度にあまり感応的でないため調節可能な結合器に好ましいであろう。

再び第3図を参照して、もし信号が最下位のファイバ106に存在するならば、この発明の光学

系は、親出願の米国特許第4,674,830号に開示された教示に従って、増幅器として動作されてもよい。増幅されるべき信号は、1.064ミクロンのレーザー遷移波長、すなわち、上方と下方のレーザングレベル間の緩和の間、Ndイオンによって放出された光の波長における波長を有するように選択される。増幅される信号が最下位のファイバ106に注入されかつ結合器104によって、ドープされたファイバ108に供給されるとき、それは、その信号とコヒーレントな、信号と同じ周波数で刺激されたフォトン放出をトリガし、かつそれによって増幅されるであろう。こうして、この周波数における光の通路は、増幅されるべき光信号と位相整合して、第1a図と第1b図とに示されるように上方レーザングレベルと下方レーザングレベル間のフォトン放出緩和を引き起こすであろうし、入力光信号のための実効利得を生じるであろう。この発明の光学系はこのように増幅器として機能する。この特定の構成では、最下位ファイバ106の端部には放射器は位置づ

けられていない。増幅信号はドープされたファイバ108の端部120で出力される。

ここで、第3図の説明と関連して開示されたように、スーパー蛍光線のための、出力パワー対増幅率、吸収されたポンプパワーのグラフを示す第8図を参照する。ファイバ出力は本質的に偏光されない。10mW出力パワーで、変換効率率は、正味変換効率が、吸収されたポンプパワーと12%の1060nmの信号間である状態で、45%である。低いポンプパワーのため、追加の自然放出に起因して出力パワーはポンプパワーと線形的に増加する。刺激された放出が大きくなるにつれて、Cが装置の全長に渡って進んだに等によって経験された線中央利得である場合、出力は本質的に $e^{2\alpha}$ として非線形的に増加する。ファイバ106の一方端にミラー118を配置すると、臨性長が実効的に2倍され、かついかなる飽和効果をも除くと、利得が2倍される。ここで出力が $e^{2\alpha}$ として増加すると、これは非常に大きな効果であることが認識されなければならない。ミラー

118が取除かれると、出力パワーは80mWの吸収されたポンプに対して約300μWまで降下する。

ここで、第9図を参照すると、この図では、出力スペクトルのピークで、より大きな形幅によって、計測された線幅がどのくらい漸進的に狭くなり、かつmW範囲で全出力パワーに対し約16nmではほぼ一定になるのかが示されている。第9図では、ポンプ波長は825nmになるように選択されている。第10図は、825nmのポンプ波長に対して4.8mWの全パワーでの1060nm線の典型的な出力スペクトルを示す。

第11a図、第11b図および第11c図を参照すると、1%Ndドープされた、YAGスーパー蛍光ドープされたファイバを使用したこの発明の好ましい実施例の長さに従った、利得ファクタおよび全蛍光パワーの展開が示されている。 σ_e が線中央でのシミュレートされた断面であり、 τ_f が材料の蛍光寿命であり、かつ n_1 がドープされたファイバのコアの屈折率である場合、材料バ

ラメータは、 $\sigma_e = 3.2 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$, $\tau_f = 230 \mu\text{s}$, および $n_1 = 1.820$ のようになる。ポンプ波長は $\lambda_p = 810 \text{ nm}$ と仮定され、かつ材料吸収係数 α_p はおおよそ 4 cm^{-1} とされる。第11a図は、低いポンプパワーレベルで、自発的放出が支配し、かつ順方向および逆方向波 P^+ および P^- がほぼ線形的に構成されているのを示している。利得ファクタは本質的に不飽和状態であり、かつポンプ吸収の結果、左（入力側）から右へと指数関数的に崩壊する。高ポンプパワー（第11b図）で、刺激された放出が支配的であり、かつ蛍光パワーが指数関数的に大きくなる。十分に高いポンプパワーで、蛍光は、利得ファクタが反転分布ディプレッション(depletion)（第11c図）によって大幅に減少された、ファイバの入力および出力端部に近い、非常に大きなレベルにまで成長する。利得ファクタは、順方向信号 P^+ のパワーと逆方向信号 P^- のパワーとの和である全蛍光パワーが最小である、ファイバの中央近くで急激な最大を示す。

第2の実施例の説明

この発明で達成された結果は、ポンピング照度波長での結合効率が100%であり、レーザ出力波長での結合効率が0%である結合器を使用して実現されてもよいことが理解されるであろう。

第12図は、このような実施例の図示である。この実施例では、ポンプ源およびミラーは、第3図と関連して上述で述べられた第1の実施例と類似して、結合器に結合される。第12図は第3図と関連して述べられた同様のエレメントを含んでいるので、第3図に使用された同様の数字が、同じエレメントを表わすのに第12図に用いられるであろう。しかしながら、第12図の多重化結合器は、第3図の結合器104と異なった特徴を有しており、かつ数字304で表わされるであろう。したがって、ポンプ源100はファイバ102を介して多重化結合器304のポートAでポンピング照射を与え、一方、ミラー118はポートCでファイバ106の一方端に結合される。ドープされたファイバ108は、第3図の説明と関連して

述べられた態様でポートDで結合される。ドーブされたファイバ108は、好ましくは、径110のによって光ファイバに結合され、または、その光ファイバ106に単に溶融されてもよい。ポートBは好ましくは結合されないままである。

この実施例では、結合器304は、ポンピング源の波長で100%の結合効率、およびドーブされたファイバ108によって放出された光信号の波長で0%の結合効率を実質的に有するように設計される。

ポンピング波100からの光は、まずファイバ102を離って伝送され、ポートAからポートDへと、ドーブされたファイバ108に結合される。ドーブされたファイバは、好ましくはNd:シリカファイバであり、第12図の矢印112および114によって示されたように逆方向および順方向の両方向にスーパー蛍光信号を放出する。順方向信号114が、結合されないまま、ドーブされたファイバ108の出力端120に出力される。しかしながら、逆方向信号112はポートDで結

合器304に注入し戻され、かつ結合器304の結合機能によって逆方向結合された後、ファイバ106に伝送される。したがって、逆方向信号112はポートDからポートCへと伝送され、かつミラー118に鏡射された光ファイバ106に注入される。したがって、逆方向出力112は、ミラー118の作用により結合器304に反射し戻され、かつ結合器304のポートDに伝送される。ミラーでの反射の後、逆方向信号112は最終的に、ドーブされたファイバ108の出力端120に出力される。

第1および第2の実施例の動作モード

ここで示された実施例は共に同様の原理に従って機能することが、当業者によって理解されるであろう。先行技術に勝る1つの主な利点は、ポンピング照射が、先行技術でこれまでに実行されたようにミラーを橋断することなく、ドーブされたファイバに直接に送り出されるという事実にある。この発明の実施例では、光ファイバ102に注入されたポンピング照射は、引き続き、結合器10

4(304)の結合機能によって、選択された実施例に依存してポートBまたはポートDに結合される。ポンピング信号は、決して隣接の光ファイバ106およびミラー118に伝送されることはない。この発明では、ポンプ結合効率が実質的に増加することが当業者に明らかであろう。これは、ポンプパワーが、ドーブされたファイバでスーパー蛍光を発生する際に重畳であるので、特に有利である。

スーパー蛍光信号を反射させるようにミラー118を使用することによって、ファイバの全利得が大幅に増加され、かつポンピング源のパワーが減少され得る。特定の例によって、約0.3dB/mWの利得を有するドーブされたファイバのため、およそ60-70mWの出力のレーザ源は典型的に、9dBの全利得を得るのに必要である。この発明の装置では、30-35mWのレーザ源が9dBの同じ利得を得るのに十分であるので、反射器118によるポンピング信号の2重遊路によって、2のファクタだけ所要のソースパワーが

大幅に減少される。この発明の上述の実施例はまた、ミラーの動作に相応しい必要条件だけでなく結合方法をも大幅に簡便にする。この発明の装置では、ミラーは好ましくは高反射器であり、かつその多重化特性のような他の規準に従って選択される必要はない。さらに、この発明の好ましい実施例では、ポンプ信号は、ドーブされたファイバに送り出される前にミラーを橋断する必要はない。したがって、結合効率を改善するために様々な結合方法が考えられ得る。これは、結合効率が一般的に低いレーザダイオードのようなポンプ源に特にあてはまる。この発明の好ましい実施例では、レーザダイオードのようなポンピング源でさえも、このような効率が大幅に改善される。したがって、当業界で公知の結合技術がこの発明の装置に適用され得る。これらの結合技術は、とりわけ、ポートAでのファイバの端部をテーパすることを含む。テーパされたファイバは、一般に、ソースまたは比較的大きな断面のファイバから、より小さな断面のファイバへ光を伝送するのに使用される。そ

の一方端が他方端よりも大きな断面を有するようなファイバを引くことによって、光源から放出された光を光ファイバに効率的に結合することができる。ファイバの端面上の微分マイクロレンズもまた有利に使用され得る。それらの結合技術はまた、システムの周波数の安定性を改善しかつその性能を一般的にさらに改善することが当業者には公知である。テーパー状のファイバの徹底した論議が、アラン・シュナイダー (Allan Snyder) およびジョン・ラブ (John Love) による「光導波路理論」 (Optical Waveguide Theory)、チャップマンおよびホール (Chapman and Hall) 183、ロンドン市、英国、1976-1977頁に見出され得る。

この発明では、モード整合または最適化され、かつレンズのような規則的な光成分よりも実質的に優れている。ドーブされたファイバに直接にファイバを当接することによって、この発明に従ってこのように得られた装置は、非常に剛性が高く、コンパクトで、たとえば、潮濕の際に故障しにく

くまたは損傷も受けにくい。この発明の上述の実施例によって開示された先行技術に勝る他の主な進歩的な点は、ソース信号とレーザ信号との分離を可能にするという点に有利な設計にある。先行技術の装置では、ソース信号とレーザ出力は共に同じ光導波路に流れて進む。好ましくは、レーザ光はポンプ源に戻らず、またはポンピング源の空洞に向かって伝播する信号のような結合光学系は、信号経路上のフィードバックを作り出すこともない。この発明の好ましい実施例では、結合器を介する100%の伝送 (第3図に示された第1の実施例) または結合器を介した0%の伝送 (第12図に示された第2の実施例) の後、出力レーザ信号は結合器を介してミラーに結合される。したがって、レーザ信号はポンプ源の空洞または結合光学系を「見る」ことはなく、その結果、ポンプ源から現われる信号経路へのフィードバックの減少をもたらす。これは、不希望の増益誘起共振効果からレーザ信号スペクトルを開放するように維持しなかった、先行技術の装置に勝るこの発明の實

質的な利点である。こうして、結合器は、レーザ出力信号がポンプ源の空洞に伝播し戻されるのを妨げることによってアイソレータとして作用する。

この発明の他の重要な利点は、結合器によって発生されたフィルタ効果に起因して、スーパーバンド光源の温度依存性の実質的な改善によるものである。

第3図および第12図にそれぞれ示された好ましい実施例の結合器104または304は、少なくとも2つの重要な機能で有利に動作する。これらの信号の周波数に従って、それは、まず、それを介して伝播する信号に特定の経路を提供する選択、マルチプレクサとして作用する。この多重化機能は、第3図および第12図の説明と関連して上記で述べられてきた。さらに、この発明で使用された結合器は、温度変化に対して、ドーブされたファイバ108によって放出されたスーパーバンド光信号を安定化するのに有利に使用される。

結合器は、典型的に、結合器の構造上の形状に依存するフィルタ機能によって特徴づけられる。

結合器パワー対信号波長を表わすいくつかのフィルタ機能が、第5図、第6図および第7図と関連して上記で述べられた。結合器のフィルタ機能によって達成された周波数の安定性および結合器の温度依存性をよりよく理解するために、ここで、所与の結合器機能の温度依存性を示す図である第13a図を参照する。縦軸としての結合器 α を介して伝送されたパワーおよび横軸としての波長 λ を使用する第13a図に、結合器波長依存性関数プロットされる。理論的な計算および実験データが、温度の増加が、より低い波長の方向で曲線400によって表わされたフィルタ機能を、第13a図の左側に変換し、それによってより高い温度のための新しい曲線400aを生じること示している。理論的な計算はまた、第13a図の曲線400の水平変位が結合器の半値全幅 (FWHM) と実質的に無関係であることを示す。全ガラスファイバ光学結合器のためのフィルタ機能の温度依存性を述べるため、次の式が提案された。

$$\frac{\partial \lambda_f}{\partial T} = -\lambda_f (\alpha + \rho) \quad (1)$$

ここで、 λ_c は中心波長のまわりのフィルタ機能の波長を示し、 T は絶対温度を示し、 α は膨張係数を示し、かつ μ は結合器の熱光学係数を示す。それらの理論計算の詳細は、G. メルツ (G. Melz) 等による「クロストーク光ファイバ温度センサ」(「Cross-Talk Fiber-Optic Temperature Sensor」) と題された『応用光学 (Applied Optics)』第22巻、第3号、1983年2月1日に記載の論文に見出され得る。この論文はここで参照として用いられる。

係数 $(\alpha + \mu)$ は、ガラス型から吟醸立しており、かつ全ガラス結合器に対して $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ のオーダーでの値を有している。こうして、典型的に、 $1/\lambda_c \cdot \alpha \lambda_c / \delta T$ の値は、全ガラス結合器に対して約 $-10 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ である。しかしながら、液体型が、結合されたファイバのコアによって形成された界面で挿入される。調音可能なファイバ結合器では、結合器の熱光学係数はより高い。数 100 の $\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$ のオーダーでの温度依存は、吟醸されたファイバ結合器では一般的でないことは

ない。調音可能な吟醸された結合器の温度依存のさるに詳細な説明が、マイケル・ディゴネット (Michael Bigonnet) 等による「調音可能な単一モード光ファイバ結合器の分析」(「Analysis of a Tunable Single Mode Optical Fiber Coupler」) 『IEEE ジャーナル クォンタムエレクトロニクス (IEEE Journal of Quantum Electronics)』、第 QE-18 巻、第4号、1982年4月、746頁-754頁、および、ディゴネット (M. Bigonnet) 等による「単一モードファイバ結合器における多重化波長」(「Wavelength Multiplexing in Single-Mode Fiber Couplers」)、『応用光学 (Applied Optics)』第22巻、第3号、1983年2月1日、484頁-491頁に見出され得る。

結合器のフィルタ線幅に関する、それは、吟醸されたファイバおよびファイバの曲率半径に依存して、数 Δ (狭帯域フィルタ) から数 100 nm (ノーマーク 200 nm またはその程度) へと変化してもよい。半値全幅 (FWHM) は $\Delta \lambda_c$ によ

って典型的に表わされ、かつ伝送されたパワーの半値でのフィルタ機能の線幅である。 $\Delta \lambda_c$ は第13a図に示されている。

一方、ファイバ源によって放出されたスーパー螢光信号の波長もまた温度に依存する。共振および非共振線を含むすべてのファイバ源が、係数 $\delta \lambda_p / \delta T$ によって特徴づけられた温度に関してそれらの放出波長の固有波長依存を示すことが当業者によって認識されるであろう。この発明に従ったスーパー螢光ファイバ源の放出スペクトルの温度依存を示す第13b図をここで参照する。第13b図では、放出スペクトルが曲線402によって表わされる。温度は、曲線402aを生じるようにこのスペクトルを右側に変換することによってこのスペクトルに影響を与える。典型的に、ファイバ源の温度依存は1度につき数 ppm ($10-20 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$) のオーダーである。

ファイバ源の半値全幅 (FWHM)、 $\Delta \lambda_p$ は、典型的にサブナノメートルから数 10 nm へと変化してもよい。しかしながら、ファイバジェ

イロスコープを含むほとんどの光学応用では、 $20-30 \text{ nm}$ のオーダーの FWHM が好ましくは実用に使われる。

この発明の利点の1つは、放出スペクトルの温度ドリフトを少なくとも部分的に解消するように、選択された温度依存特性を有する結合器を有利に使用することである。第13b図は、ファイバ源の放出スペクトルが、温度が上昇するに従ってより高い波長へと変換され、同時に、同じ温度上昇が、より低い波長へと結合器の多重化曲線を移動させることを示している。

所与のスペクトルを有する源によって放出された光が、所与のフィルタ機能を有する結合器によってフィルタ処理されると、フィルタ処理された光の強度は単に、スペクトル関数 (function) と、特定の波長に対するフィルタ関数 (function) との積である。フィルタ処理された光のスペクトルは、したがって、次の方程式によって与えられる。
P_{フィルタ処理} (2)

$$= P_{\text{源}}(\lambda) \cdot P_{\text{結合器}}(\lambda) \quad (2)$$

ここで、 P_{average} は全出力信号パワーであり、 P_0 は所与の波長で結合器によって伝送された P_{avg} を結合する前のソース信号のパワーである。

この発明の装置で用いられる結合器の温度に関して波長の変化を適切に選択することによって、ファイバ線放出スペクトルの温度ドリフトを解消し、または少なくとも最小にすることができる。ジャイロスコープ応用を含む様々な応用では、温度に関して安定化されるべきである放出スペクトルの量が、スペクトルの中心波長 λ_0 よりむしろ平均スペクトル波長 $\langle \lambda \rangle$ であることが当業者によって認識されるであろう。

この平均スペクトル波長 $\langle \lambda \rangle$ は、ソースによって放出されかつ多重化結合器によってフィルタ処理された信号のための次の式によって規定される。

$$\langle \lambda \rangle = \frac{\int_{\lambda_{\text{min}}}^{\lambda_{\text{max}}} \lambda P(\lambda) F(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_{\text{min}}}^{\lambda_{\text{max}}} P(\lambda) F(\lambda) d\lambda}$$

…(3)

ここで、 $P(\lambda)$ はソースの放出スペクトル関数

であり、かつ $F(\lambda)$ は結合器のフィルタ関数である。積分記号 \int の下つきの「スペクトル」は、積分が放出スペクトルの値 λ に対して実行されることを示している。

理論計算は、下記の表1および表2に要約された次のような結果を生じた。

		第 1 フィルタ処理された ($\delta\lambda_F/\delta\lambda_0$)		10%処理された ($\delta\lambda_F/\delta\lambda_0$)	結果の差	
ΔT	$\delta\lambda_0/\delta\lambda_0$	$\lambda_0/\delta\lambda_0$	$\lambda_0/\delta\lambda_0$	$\lambda_0/\delta\lambda_0$	$\lambda_0/\delta\lambda_0$	$\lambda_0/\delta\lambda_0$
134	5.10 ⁻²	-2.05.10 ⁻²	-1.0.10 ⁻²	1.135.10 ⁻²	52.0.00	
144	4.10 ⁻²	-1.64.10 ⁻²	-1.45.10 ⁻²	7.54.10 ⁻²	22.8.00	
158	3.10 ⁻²	-6.1576.10 ⁻²	-1.09.10 ⁻²	4.75.10 ⁻²	57.5.00	
72	2.10 ⁻²	-5.21.10 ⁻²	-1.25.10 ⁻²	2.74.10 ⁻²	34.2.00	
35	1.10 ⁻²	-4.105.10 ⁻²	-1.03.10 ⁻²	1.24.10 ⁻²	54.7.00	
15	5.10 ⁻³	-2.05.10 ⁻²	-1.0.10 ⁻²	6.26.10 ⁻²	54.8.00	
1.8	5.10 ⁻³	-2.05.10 ⁻²	-1.0.10 ⁻²	6.26.10 ⁻²	54.8.00	

$\Delta\lambda_0=0.7215$, $\Delta\lambda_1=2.0$

		第 2 フィルタ処理された ($\delta\lambda_F/\delta\lambda_0$)		10%処理された ($\delta\lambda_F/\delta\lambda_0$)	結果の差	
ΔT	$\delta\lambda_0/\delta\lambda_0$	$\lambda_0/\delta\lambda_0$	$\lambda_0/\delta\lambda_0$	$\lambda_0/\delta\lambda_0$	$\lambda_0/\delta\lambda_0$	$\lambda_0/\delta\lambda_0$
134	5.10 ⁻²	-1.913447.10 ⁻²	-2.45×10 ⁻²	6.61×10 ⁻²	65.7.00	
72	2.10 ⁻²	-1.276.10 ⁻²	-1.65×10 ⁻²	1.35×10 ⁻²	50.8.00	
35	1.10 ⁻²	-6.36.10 ⁻²	-8.16×10 ⁻²	1.085×10 ⁻²	46.7.00	
15	5.10 ⁻³	-3.19.10 ⁻²	-4.08×10 ⁻²	9.99×10 ⁻³	46.3.00	
3.6	1.10 ⁻²	-6.26.10 ⁻²	-7.16×10 ⁻²	1.23×10 ⁻²	46.2.00	
1.8	5.10 ⁻³	-3.19.10 ⁻²	-4.08×10 ⁻²	6.17×10 ⁻³	46.2.00	

$\Delta\lambda_0=0.7215$, $\Delta\lambda_1=5.0$

上の表において、ここに規定される変数は以下である。

ΔT は温度の変化；

$\delta\lambda_0$ は源の FWHM；

$\delta\lambda_F$ は結合器の FWHM；

$\delta\lambda_0/\delta\lambda_F$ は源の FWHM に関して標準化された、温度変化 ΔT による、線放出スペクトル中央波長の変化；

$\delta\lambda_F/\delta\lambda_F$ は結合器の FWHM に関して標準化された、温度変化 ΔT による、結合器機能 (function) 中央波長の変化；

$(\delta\langle\lambda\rangle/\delta\lambda_0)$ は多重化結合器を用いない、温度変化 ΔT による平均スペクトル波長 $\langle\lambda\rangle$ の変化 (フィルタ処理されていない)；

$(\delta\langle\lambda\rangle/\delta\lambda_0)$ は多重化結合器を用いた、温度変化 ΔT による平均スペクトル波長 $\langle\lambda\rangle$ の変化 (フィルタ処理された)。

第1表および第2表の最後の列はこの発明において開示される結合器を用いて得られる正味の改

良を示す。第1表および第2表はそれぞれ1)

ppm/°Cの結合器 $\delta\lambda_F/\delta T$ の温度依存を有する狭いフィルタ ($\delta\lambda_F = 2, 0$) と約880 ppm/°Cの結合器 $\delta\lambda_F/\delta T$ の温度依存を有するより広いフィルタ ($\delta\lambda_F = 5, 0$) に対応する。第1表および第2表において要約された理論上の計算の結果において、結果の範囲を制限しない様々な仮定がなされた。すなわち、源の放出スペクトルはガウス形であるものとみなされる。さらに、結合器機能は \sin^2 関数によって近似され、この仮説は理論上のモデルおよび実験データによって裏付けられている。結合器のフィルタ機能はまたいかなる側波帯も含まないと仮定される。これらの仮定を満足させる機能を有するフィルタは適切なファイバ結合器を連結することによって容易に得られる。代替的に、側波帯の抑制はバルク光フィルタを用いることによって得られ得る。このようなバルク光フィルタは温度依存性が低い (典型的には下記につき 100 ppm またはそれ以上のオーダーで) が、その効果はバルクフィルタエッジ

が結合型フィルタ開設の0の近くで下がるように選択されているので小さい。パルタ光フィルタ開設のシフトはそれゆえ結果として生じたフィルタ伝達にわずかな影響しか及ぼさない。

第1表および第2表に示される結果は、原信号が多重化結合器によって予備的に結合されるとき、源の温度依存性において正味の改良があることを明確に示す。フィルタの正味の効果はそれゆえ約50 dBのファクタで温度によって引き起こされる平均スペクトル波長の変化を減少させることである。レーザ信号の温度依存性における改良は、より大きな温度依存性を有する結合器の場合(第2表)においてもまた、かつ50 dBのオーダにおいてもまた容易に感知できる。

上に述べられた理論上の計算において、値 $\delta\lambda_f$ は所与の特定の温度変化に対する平均スペクトル波長 $\langle\lambda\rangle$ を最小化するように計算されている。原信号の温度依存性における正味の改良はそれゆえ $\delta\lambda_f$ のために選ばれた道に依存する。さらに計算すると、 $\delta\lambda_f$ がその最適値に正確に設定さ

れないときこの改良の度合は減少することが示される。改良が $\delta\lambda_f$ のために選択された道に關してどのように変化するかを示す第14図をここで参照する。 $\delta\lambda_f/\delta T$ の比(最適)は横軸に示され、dBで表わした改良 $\delta\langle\lambda\rangle/\delta T$ は縦軸に示される。当業者には、源の温度依存性における改良が、 $\delta\lambda_f$ の値がその最適値の10%以内で選択される限り十分な状態のままである(10 dBより大きい)ことが理解されるであろう。この発明の装置における結合器を用いた結合器の温度依存性をその最適値の10%内で適切に選択することによって、ファイバ源の温度依存性を10-20 ppm/度から1-2 ppm/度またはそれより良い値に結らすことが可能である。上の理論上の計算は結合器の温度依存性が線形であると仮定した。結合器の非線形性を考慮し、かつ、 $\delta\lambda_f/\delta T$ の選択と $\lambda_f(T)$ の非線形性による組み合わされた効果によって値 $\delta\lambda_f$ がしとの値 $\delta\lambda_f$ (最適)のわずか30%以内になると仮定すると、第14図は3のファクタの改良がこの発明の装置

によっても得られ得ることを明らかに示す。源の温度依存性における改良はこの発明のたいの間の光学的な応用、特にジャイロスコープにおいて得られ得る。

結合器のフィルタ処理の効果は、原信号の少なくとも1つの成分が結合器を2度横切る限り、上に述べた実施例において高められ得る。このような場合、フィルタ処理された光の強度は源および所与の波長に対するフィルタ係数の2乗によって出されたフィルタ処理されていない光の強度の積に等しい。これは次の式によって最もよく表約される。

$$P_{\text{filtered}} = P_{\text{unfiltered}} \cdot P_{\text{filter}}^2 \quad (4)$$

この発明の装置はそれゆえ、先行技術においてよく認識された多くの限界を回避するので先行技術に対して非常に有利である。結合器の温度依存性が源スペクトルの反対方向に変化するように結合器を適切に選択することによって、温度によって誘起された源スペクトルの平均的な波長のシフ

トを効率的に結らすことが可能である。もし結合器の温度依存性が適切に選択されるなら $\delta\lambda_f$ という高い正味の改良が得られ得る。しかしながらもし $\delta\lambda_f/\delta T$ の値がその最適値の10%内で選択されるなら、源の温度依存性における改良は十分な状態のままである(10 dBのオーダで)。 $\delta\lambda_f/\delta T$ の値がその最適値の30%内で選択されるとき利得はまだ容易に感知し得る(約3)。 $\delta\lambda_f/\delta T$ の値は現在知られる光結合器に十分に適合する。

スーパー強光ファイバ源以外の他の源に及んでも、上記の結果は有効なままであることにも注目しなければならない。特に、共振広帯域ファイバレーザの出方の温度依存性もまた多重化結合器を用いたかつ $\delta\lambda_f/\delta T$ の値を適切に選択することによって大幅に減少され得る。上記の結果はより狭い帯域のファイバレーザ源にも適用できることが理解されなければならない。

ここで、源FWHMに対するフィルタFWHMの比に關して、安定性および伝達されたパワーの

依存性を表わす第15図を参照する。このグラフにおいて、横軸はこの比によって表わされる。最も左の縦軸には、スーパー蛍光出力信号の安定性が示され、最も右の軸はスーパー蛍光信号の伝達された出力パワーを示す。フィルタを選択するに際して関係した尺度をよりよく理解するために、その特性が第15図に表わされたフィルタは温度に関して無制限に安定であると仮定される。出力信号の安定性の増大は定義では、不安定な源(たとえばローレンツ源)に対する、測定された安定なフィルタ関数(たとえば \cos^2 の関数)のための平均線長の変動性である。曲線600が安定していることは、フィルタFWHMが所与の源FWHMに対して減少するとき、出力信号の安定性が増すことを明確に示す。より狭いフィルタ(小さなFWHM)によってフィルタ処理された出力スペクトルはそれゆえ、より広いフィルタ(大きなFWHM)によってフィルタ処理された出力スペクトルよりも温度依存性が小さい。しかしながら、狭いフィルタの処理機能に対するこの安定性の増

加に対する推合いは、曲線602によって示されるように、結合器を介して伝達されるパワーが少ないことである。言葉にほたしかに、フィルタ処理の機能が狭ければ狭いほど、より少ない波長が伝達されかつそれゆえより少ないパワーが結合器を介して送られるということが認識されるであろう。

結合器パラメータを適切に選択することによって、線スペクトルの温度依存性をかなり減少させる結合器フィルタ機能を得ることが可能である。このフィルタ機能はしかしながら十分に通過性があるので、出力光の強度はこの光が用いられるべき様々な応用に対して十分に強い。源FWHMに対するフィルタFWHMの比のための値0.20はグラフ上に示される上の条件を最善の状態にするようである。この値は2つの曲線600および602の交点点に対応する。

この発明の好ましい実施例に関連して述べられた光エレメントの形態はそれゆえ、この発明のスーパー蛍光源によって出された出力光が、先行技

術のいかなるスーパー蛍光源の光よりも温度依存性が小さいようにされている限り非常に有利である。

N dドーブされたファイバを用いたこの発明のスーパー蛍光源において達成され得る利得はN dドーブされたファイバ内の反転されたネオジムイオン母集団の密度に依存する。利得信号の理論上の計算は、利得ファクタが信号パスに対して15dBのオーダでかなり大きくなり得ることを示す。15dBの利得は、レーザロッドを振盪する信号はおおよそ1.6のファクタで増幅を受けることを暗示する。

ここで再び第3図および第12図を参照して、順方向信号114の増幅は明らかに逆方向信号112の増幅と異なる。順方向信号114はドーブされたファイバロッド108の出力(最も右のドーブされたファイバ端120)に向かって出されかつ g のファクタで増幅を受ける。順方向信号はそれゆえ以下の式で表わされ得るドーブされたファイバの出力においてパワー P^+ を有する。

$$P^+ = P_0 \{ e^{g^+ L} - 1 \} \quad \dots (5)$$

ここで P_0 はドーブされたファイバ108に送り出された信号の初期パワーであり、 g は全利得でありかつファクタ1はスーパー蛍光を誘起するために必要なパワーの損失を表わす。

逆方向信号112は2度増幅を受け、初めに結合器104または304に向かって、ドーブされたファイバ108を出し、2番目に、ドーブされたファイバ108を再横断し最終的にそれを出力する。簡単な理論上の計算は出力における逆方向信号114のパワー P^- が以下の式で表わされることを示す。

$$P^- = P_0 \{ e^{2g^- L} - 1 \} \quad (6)$$

反射器118上の反射はそれゆえ逆方向信号112の増幅が順方向信号114の増幅よりはるかに優れることを許容する。順方向信号112は単に全出力の小さな部分を表わす。しかしながら、結合器のフィルタ機能は順方向信号114には適用しないことが思い起こされる。順方向信号114は実際、いかなる光予限によってもフィルタ処理されることなく、ドーブされたファイバを直ちに

出す。もし経路長が十分に大きいなら、順方向信号114は出力の無視できるほどの部分でありかつそれゆえフィルタ処理されない順方向信号114の温度依存性は全出力信号に実質的な影響を持たない。

利得が減少する場合は、順方向信号の寄与は重要でありかつその結果、フィルタ処理されない順方向信号114の温度依存性は全出力信号の温度機能(function)に影響を与えるかもしれない。

この問題を避けるために、順方向信号および逆方向信号の両方を結合器によってフィルタ処理する、この発明の他の実施例が考察された。

第3および第4実施例の説明

第16図はこの発明の第3実施例の概略図を示す。第1および第2実施例を示す第3図および第12図に関連して説明したのと同じ光成分がこの第3実施例において用いられる。このシステムはそれゆえポンプ源100、2つの光ファイバ102および106、ドープされたファイバ108、ミラー118および結合器104を含む。ミラー

118はドープされたファイバ108の一方の端112に置かれるが、ファイバの他方の端116は好ましくはスプライス110によって光ファイバ102に結合されかつさらに結合器104に結合される。

第3実施例における全体システムは以下の態様で機能する。結合器104が源波長で信号に結合しないように選択されているので、ポンプ信号はポンプ源100によって出され光ファイバ102に伝送される。上に述べられた条件において、ドープされたファイバ108スーパー蛍光は2つの成分である、第16図の矢印によって示される順方向信号114および逆方向信号112を生じる。結合器104はレーザ調波数で100%信号を結合するように選択されているので、順方向信号114(図面の左側に宛かって方向づけられた)は結合器104を横切り、光ファイバ106に結合される。出力信号は光ファイバ106上で集められる。

逆方向信号112はミラー118によって反射

され、順方向信号114と同じ方法で光ファイバ106に出力される。しかしながら、順方向および逆方向信号の両方は結合器によって1度フィルタ処理されることが理解されるであろう。結合器のフィルタ機能はそれによって上に説明した理由から、全出力信号の温度依存性を減少させ得る。それゆえ、改良された温度安定性は第16図に示された装置から生じる。この発明の第3実施例における出力信号の正味のフィルタ機能は第3図および第12図に示される第1の2つの実施例におけるフィルタ機能とは異なることが明らかである。第16図のシステムにおける全出力信号はたしかに1度フィルタ処理されるが、第1および第2実施例においては逆方向成分は単独で2度フィルタ処理されかつ順方向成分はフィルタ処理されないままである。第1の2つの実施例に関連して述べられたすべての利点はこの第3実施例にも適用する。

第12図に関連して説明した結合装置に対応する別の実施例もまた考えることが可能である。第

17図に示されたこの第4実施例において結合器304の特性は、結合器が完全にポンプ源信号波長を結合しかつ本質的にはレーザ信号波長を結合しないように選択される。ドープされたファイバ108およびミラー118はそれゆえ結合器304のポートDに結合される。ポンプ信号は結合器304を介して、ドープされたファイバ108にすべて結合される。出されたレーザ信号の順方向および逆方向成分は本質的に結合されずかつ光ファイバ106に伝送される。前の実施例に固有のすべての利点はやはり有効である(特に温度依存性)。

第4実施例の説明

ファイバのジャイロスコープのようなループを組み入れたオールファイバ反射器を用いた第4実施例もまたこの発明の精神の範囲内で進段可能である。

オールファイバ反射器は先行技術において知られている。特に、オールファイバ反射器を用いたNd³⁺・ドープされたcwファイバレーザが、

1987年6月1日付「応用光学」(“Applied Optics”)の26巻No. 11のJ. D. ミラー(J. D. Miller)その他による「オールファイバ反射器を用いたNd³⁺ドープされたcwファイバレーザ」(“Nd³⁺-doped cw fiber laser using all-fiber reflectors”)と題された論文のページ2197から2201に開示されている。この論文はここに引用により援用される。ファイバ反射器は方向性結合器の出力をループバックすることによって作られる。不活性オールファイバミラーは典型的な誘電体または金属反射器とは異なる特性を有する。結合器に付随する光はフィードの2つの部分が結合器のまわりを反対方向に回るように分けられる。結合器をまわらって結合する光は $\pi/2$ 位相ラグを受ける。

オールファイバ反射器によって与えられる利点を十分に理解するために、オールファイバミラーの略図である第18図を参照する。第3図および第12図に関連して説明したエレメントは同じ番号によって示される。この反射器において、

β は伝搬定数であり、

l はループの全長であり、かつ

l は複素数ベースである。

反射した信号は2つの相反する方向の成分の重ね合わせからなり、その各々は回路の間に1度結合器の横断を経験する。反射した信号のための、入力フィールドに対する出力の比は、

$$j r = (E_{\text{ref}} / E_{\text{in}}) \\ = 2jK \left(1 + (1-K)^{-1/2} (1-\alpha) \exp [(-\alpha + j\beta) l] \right) \quad \dots (8)$$

によって与えられる。

当業者には K が実数であり、 j が虚数であることが理解されるであろう。それゆえ反射に $\pi/2$ の位相変化が起こる。しかしながら透過において、もし $K < 0$ 、 π なら 0 の位相変化がありかつ $K > 0$ 、 π なら π の位相変化がある。最大反射率は $dR/dK = 0$ のとき与えられ、これは $K = 1/2$ のとき、すべてのファイバおよび結合器損失値に対して満たされる。

この発明の第3実施例を概念的に示す第18図

好ましくは単一モードファイバであるファイバ102が用いられ結合器704の2つの隣接するポート間でループバックされる。結合器704は好ましくは溶融された結合器である。入力信号が波長 λ から結合器704の1つのポートに入られる。入力信号の1つの成分1は結合器704を横切らずループを時計の針と反対方向に回る。他の成分2は結合器704の2つの交差箇所に関して時計の針と反対にループを回る。これらの2つの成分1、および2はそれから出力されて、ドープされたファイバ108の出力信号およびファイバ102のリターン信号を形成する。簡単な理論上の計算は入力フィールド E_{in} / E_{ref} に対する出力の比 r は以下の式で与えられることを示す。

$$r = (1-K)(1-\alpha) \exp [(-\alpha + j\beta) l] \quad \dots (7)$$

ここにおいて、

K は結合器の強度結合比であり、

α は強度結合器損失であり、

β はフィールド損失であり、

を再び参照して、ポンプ線100は結合器704のファイバ102に結合され多重化結合器704のポートAにおいてポンピング照射を与える。ポートBおよびDの光ファイバ102はオールファイバ反射器を形成するように上に述べた態様でループバックされる。

ポートCにおけるファイバ102はたとえば実合せ結合またはスプライス溶融で、前の実施例において用いられたもののようなドープされたファイバ108に結合される。ドープされたファイバ108は好ましくはネオジムガラスファイバ(NCF)である。ドープされたファイバ放出の中央波長において結合比が0.5(3dBの結合比に対応する)に、かつ波長ポンプのための結合比が0になるように結合器の幾何パラメータがさらに選択される。ポンプ信号係をれゆえループによって完全に伝送されかつドープされたファイバに完全に結合される。しかしながら、結合器はレーザ信号が最大反射率($K = 0.5$)で反射されるように選択される。反射されたレーザ信号はこうし

で、オールファイバ反射器に関する上の理論上の計算において示される $\pi/2$ の位相変化を受ける。オールファイバ反射器の反射は次の式で与えられる。

$$R = 4K(1-K)(1-q)^2 \exp(-2\alpha l) \quad \dots (9)$$

一方、透過 T は次の式で表わされる。

$$T = (1-2K)^2 (1-q)^2 \exp(-2\alpha l) \quad \dots (10)$$

もし $K = 1/2$ なら、式(1)および(2)は、

$$R = (1-q)^2 \exp(-2\alpha l) \quad \dots (11)$$

$$T = 0 \quad \dots (12)$$

をもたらす。2つの結果は式(11)および(12)から推論でき得る。損失の少ないオールファイバ反射器は完全に近い反射を与え得る。反射されたレーザ信号はそのためドープされたファイバに沿ってお戻されかつ多重化結合器のフィルタ効果を受け、それによって温度の安定性がよくなる。またレーザ信号がポンプ($T=0$)に伝送して戻されないで、信号経路上のフィードバックが減少する。

この実施例において、逆方向信号のみが第1お

よび第2実施例と類似の多重化結合器によってフィルタ処理される。しかしながら、もし利得が十分に大きいなら、出力信号はほぼ完全に逆方向信号からなることが明らかである。前の実施例に関連して述べた利点はまたオールファイバ反射器の場合においても適用することもまた明らかである。この第5実施例は誘電体ミラーを用いずかつオールファイバ光システムのすべての利点を有する。

第6および第7実施例の説明

前述の実施例において、この発明の最も重要な特徴の1つは多重化結合器によって行なわれるフィルタ機能にある。このようなフィルタ機能によって温度のより大きな安定性が可能になる。前述の実施例において用いられた多重化結合器を、そのパラメータが特定の波長における透過に関連して適切に選択された光フィルタと置換えることが可能である。ここでこの発明に従うさらに別の2つの実施例をブロック図の形で簡略的に示した第19図および第20図を参照する。

第19図および第20図において、各々、ポンプ100、高反射率ミラー118、ドープされたファイバ108および選択された温度依存性を有するフィルタ804を示す4つのブロックが表わされる。第19図に示されるシステムは以下の順序で動作する。ポンプ源100はミラー118を照射する光信号を出す。ミラー118はポンプ波長を透過するように選ばれる。ミラー118はさらに、ドープされたファイバ108に結合される。伝送されたポンプ信号はファイバ108、好ましくはNdガラスファイバ(NdF)を照射しかつもし適切なポンピング条件が合うなら、スーパー蛍光を出す。レーザ信号はドープされたファイバ108の一方の端における出力である順方向成分114と逆方向成分112の2つの成分を有する。ミラー118は逆方向成分波長に対して反射するように作られかつ逆方向成分112はドープされたファイバ108の出力端に向かって反対に反射される。出力レーザ信号は次いで、温度により影響されないようにフィルタ804によってフィル

タ処理される。光結合器の温度依存性の前述の論議に従って、フィルタの温度依存性はファイバ端によって出されかつフィルタによってフィルタ処理された信号がフィルタ処理されないレーザ信号よりも温度依存性が低くなるように選択される。

第20図に示された実施例において、フィルタ804はミラー118とドープされたファイバ108の間に位置決めされる。このようにして、逆方向成分112のみがフィルタ804によってフィルタ処理される。逆方向成分112はフィルタ804を2度横切り、その1度目はミラー118に向かう途上で、2度目はドープされたファイバ108の出力端へ戻る途中である。この実施例はドープされたファイバの利得が十分に高いなら特に有利である。

第19図および第20図に示される実施例において多様なフィルタが用いられ得る。前述の実施例の開示において示されたように、多重化結合器はフィルタとして作用するのによく適している。しかしながら、スーパー蛍光出力信号の温度依存

性の減少を許すならいかなるフィルタも適切であろう。

さらに、第19図および第20図に示された上の形態は、この発明の好ましい実施例において開示された非共振（ファイバの両端にミラーがない）または共振（両端にミラーが設けられた典型的なドープされたファイバ）のいずれであってもいかなるドープされたファイバ源に及び得ることが当業者には理解されるであろう。第19図および第20図に示された実施例において、第2ミラー（図示せず）はドープされたファイバ108の第2端に設けられてもよく、それによってファイバ108の共振を誘起する。ファイバ源によって出された出力信号は次いでフィルタ804によってフィルタ処理され、それによって出力信号の温度依存性が大幅に減少する。ファイバ源によって出された出力信号のスーパー放射光の特性はフィルタによって生み出されたフィルタ処理の効果において散逸を来たさずかつそれゆえここに議論された概念は他の型の光信号に幅広く適用可能であること

概略図である。

第4図は本発明で好ましくはマルチプレクサとして使用されるファイバオプティック結合器の断面図であり、与えられた曲率半径でそれぞれの環状の溝に装嵌される1対のファイバオプティックストランドを示し、機械的に磨かれかつ2つのファイバオプティックストランドの間に結合を与えるために位置づけられている。

第5図は最小ファイバスペースングおよびオフセットの選択された値ならびに2.5センチメートルのファイバ曲率半径に対して、第4図で示されるような結合器のファイバ結合器の相対結合パワー対信号波長を示す図である。

第6図は200センチメートルのファイバ曲率半径を有するファイバ結合器に対する第5図と類似した相対結合パワー対信号波長の図である。

第7図は4ミクロンの最小ファイバスペースング、200センチメートルのファイバ半径および異なる値のファイバオフセットを有するファイバ結合器に対する相対結合されたパワー対信号波長

が当業者には理解されるであろう。さらに、ファイバ源の放出スペクトルはこの発明の好ましい実施例におけるように広帯域またはより狭い帯域を得る。最後に、この発明の好ましい実施例は磨かれた光ファイバ結合器を用いて説明された。磨かれた光結合器、数円錐テーパ状の磨かれた結合器などの、先行技術の状態の他の型の結合器が用いられ得ることもまた理解されるであろう。

この発明はその特定の実施例に関して述べられたが、当業者には様々な変更および修正が示唆されかつ添付の請求の範囲内の変更および修正を含むことが意図されることが理解されるであろう。

4. 図面の簡単な説明

第1a図および第1b図はNd:YAGのようなドープされた材料を使った4つのレベルのドープされたファイバの簡略化されたエネルギーレベル図である。

第2図は300KでのNd:YAGの吸収スペクトルを示す図である。

第3図は本発明の第1の好ましい実施例を示す

の図である。

第8図は本発明のスーパーluminescentソースの出力対入力ポンプパワーを示す図である。

第9図は825nmのポンプ波長での出力パワーの関数として、本発明のスーパーluminescentソーススペクトルの半値全幅を示す図である。

第10図は825nmのポンプ波長に対して4.8mWの合計パワーの本発明のスーパーluminescentソースの1060nmラインのスペクトルである。

第11a図、第11b図、および第11c図は本発明の好ましい実施例で使用される損失のない単一モードスーパー放射光ドープされたファイバの長さに対する利得ファクタおよび合計放射光パワーの展開を示す。

第12図は本発明の第2の好ましい実施例を示す概略図である。

第13a図および第13b図は本発明の好ましい実施例で使用される結合器のフィルタ関数の温度依存性、および本発明に従ったファイバソース

スペクトルの温度依存性をそれぞれ示す図である。

第14図は本発明のファイバースに關連して使用される結合器の温度依存性の関数として、本発明のファイバースの平均スペクトル波長の温度安定性における正味改良を示す図である。

第15圖はファイバースの半値全幅に対するフィルタの半値全幅の比の関数としての安定性、およびこの比の関数としての伝送パワーを示す図である。

第16図は本発明の第3の実施例を示す概略図である。

第17図は本発明の第4の実施例を示す概略図である。

第18図は全フイーバ反射器を組込む本発明の第5の実施例である。

第19図および第20図はフィルタを使用する本発明の第5および第6の実施例を示す振動ブロック図である。

図において、100はソース、102および104はファイバ、106および210は結合器、

1 0 8 はドープされたファイバ、1 1 0 は接続手段、1 1 4 は順方向符号、1 1 2 は逆方向符号、1 2 0 は端部、2 1 2 はストランド、2 1 3 は溝、2 1 4 は対向表面、2 1 6 はベース、2 1 8 は面状表面である。

特許出願人　　ザ・ボード・オブ・

トラスティーズ・オブ・ザ・

シランド・スタンフォード・

$$V_2 = 7 + 2.5 \times 10^{-3} \times 10^3$$

代理人 舟橋上 深見久良

(ほか2名)



図面の浄写(内容に変更なし)

FIG 18

FIG 1b

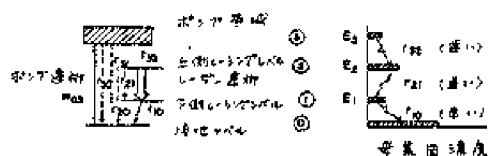


FIG 2

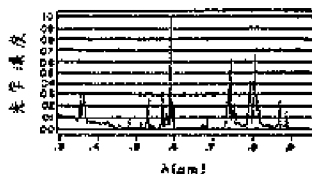


FIG. 4

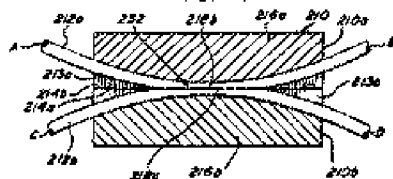


FIG. 3

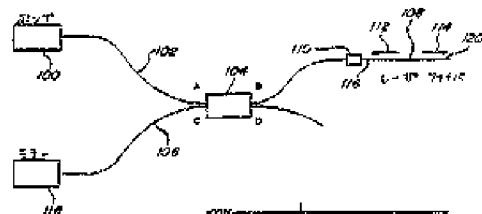


FIG 5

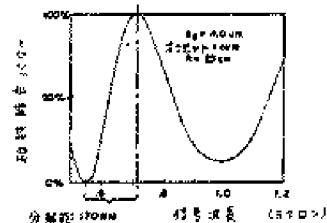
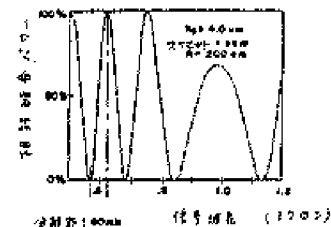


FIG 6



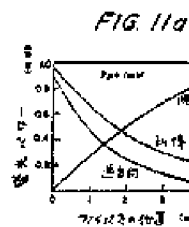
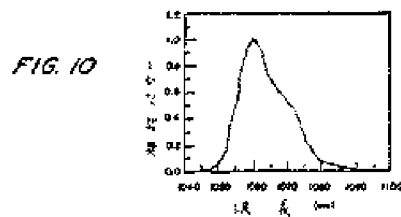
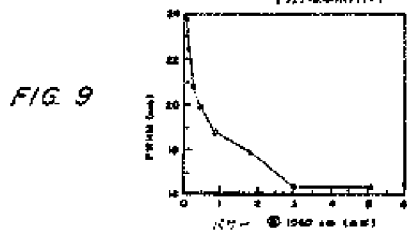
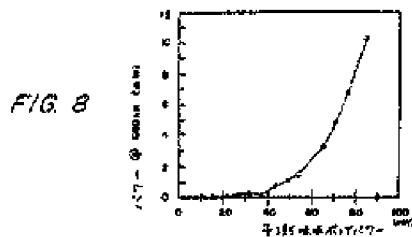
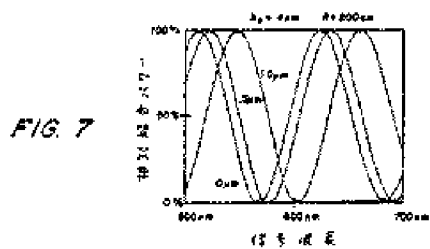


FIG. 11b

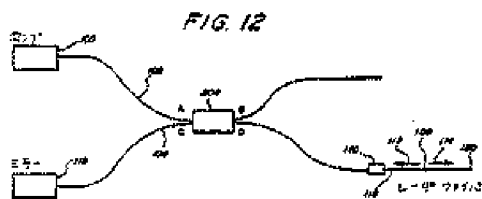
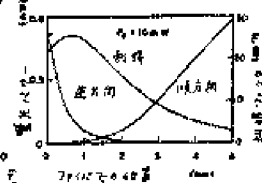
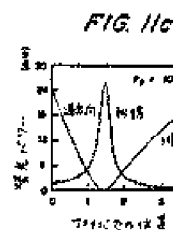
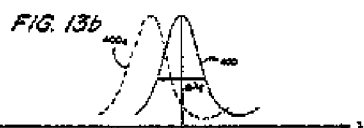
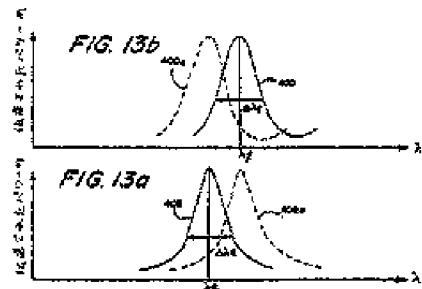
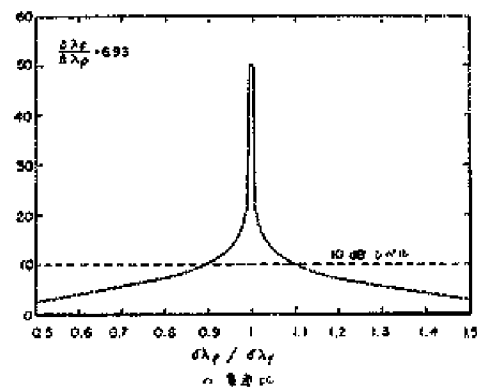


FIG. 14

$\frac{\partial \lambda_p}{\partial \lambda_f} = 6.93$ の特性を示す



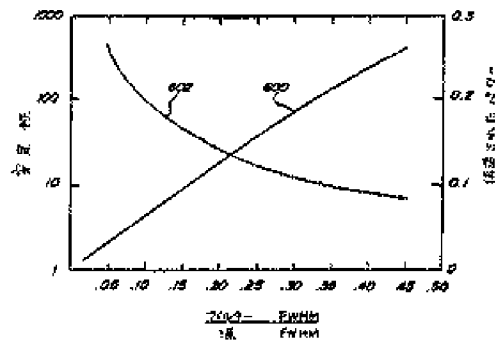


FIG. 15

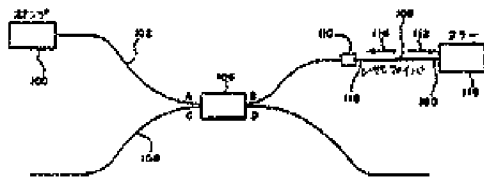


FIG. 16

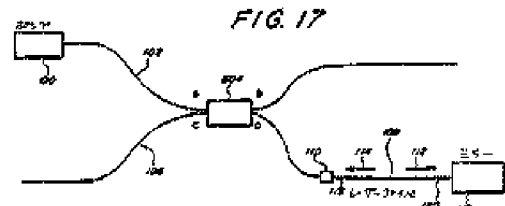


FIG. 17

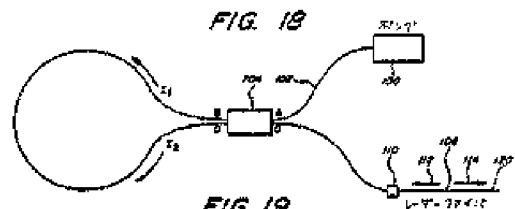


FIG. 18



FIG. 19

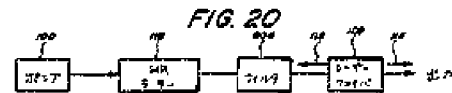


FIG. 2C

第 1 頁の続き

⑥Int. Ct. ⁵

識別記号

片内整理番号

G 02 F 2/02

2/02

7348-2H

H 01 S 3/06

3/06

7630--5F

⑦2発 明 者 カーレン・リユー

アメリカ合衆国、ニュー・ジャージー州、ローレンスビル
フェザーベッド・コート、25

⑫発 明 者 ビヤン・ワイ・キム

アメリカ合衆国、カリフォルニア州、メンロ・パーク シ
エアロン・ロード、2225

発 明 者 ハーバート・ジェイ・
シヨ一

アメリカ合衆国、カリフォルニア州、スタンフォード ア
ルバード・ロウ、719

⑫発 明 者 ジョン・ジェイ・フリ
ング

アメリカ合衆国、カリフォルニア州、ガビオタ ホリスタ
ー・ランチ、57

特開平3-28830(33)

手続補正書(方式)

平成2年9月23日

特許庁長官様

6. 補正の対象

図面全部

7. 補正の内容

図面のとおり。(内容に変更なし。)

以上

1. 事件の表示

平成11年特許願第320351号

2. 発明の名称

ファイバオプティックシステムおよび低損失回コヒーレンスを有する光を発生する方法

3. 補正をする者

出願との関係 特許出願人

名称 ザ・ボード・オブ・トラスティーズ・オブ・ザ・レランド・スクン

フォード・ジュニア・ユニバーシティ

4. 代理人

住所 大阪市北区南森町2丁目1番29号 住友銀行西森町ビル

電話 大阪(06) 361-2021(代)

氏名 弁護士(6474) 深見 久郎

5. 補正命令の日付

白紙補正 平成2年9月27日

方式
番号

